

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-287243

(43)Date of publication of application : 01.11.1996

(51)Int.Cl.

G06T 3/00

G01B 11/00

(21)Application number : 07-339236

(71)Applicant : PHILIPS ELECTRON NV

(22)Date of filing : 26.12.1995

(72)Inventor : FLORENT RAOUL
PIERRE LELONG

(30)Priority

Priority number : 94 9415872 Priority date : 29.12.1994 Priority country : FR

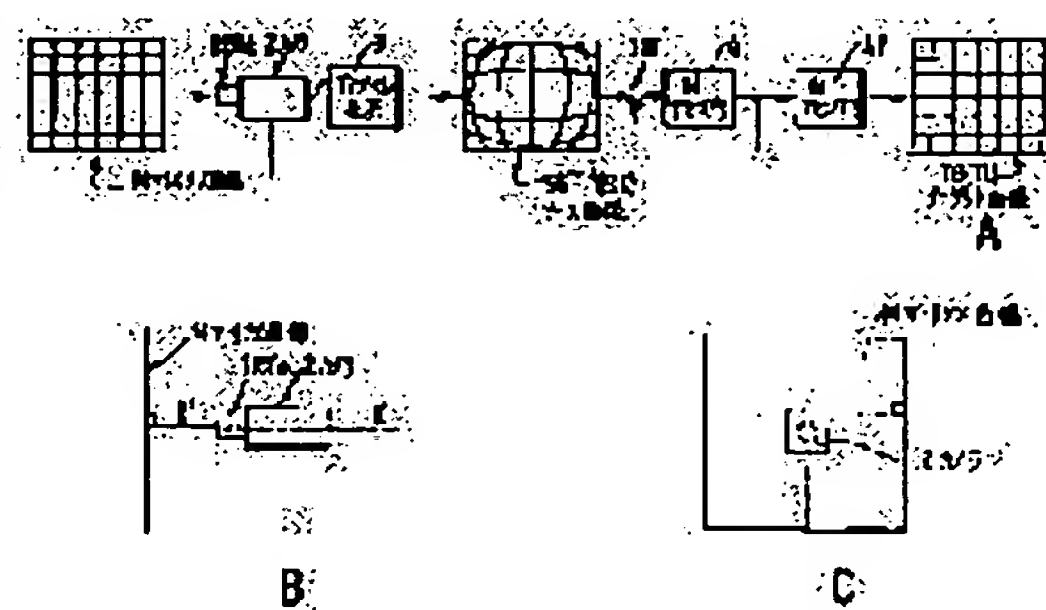
(54) DEVICE FOR FORMING IMAGE AND METHOD FOR CORRECTING GEOMETRICAL OPTICAL IMAGE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To automatically correct the geometrical optical image distortion of an X ray image pickup system.

SOLUTION: This device is provided with an image pickup system 1, learning system 2, and digitizing system 3 of a distorted source image SI, and digital image processing systems 4 and 47 constituting a target image TI obtained by correcting distortion for the source image SI. This image correcting system is provided with a first sub-assembly 4 which decides a polynomial function F_n for correcting the radial directional distortion of an optical center OC_n and optical center surroundings based on the data of a distorted test source image SG_o , and a second sub-assembly 47 which calculates the address of a point in the distorted source image SI in which intensity data suited to the initial address of the target image are present by applying the polynomial correction function to each pixel address of the target image TI.

Moreover, the calculation of a polynomial function P_n for distortion correction for constituting the optical center OC_n at the center of optical distortion and the test target image TI is included for the test source image SG_o .



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-287243

(43)公開日 平成8年(1996)11月1日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 T 3/00			G 0 6 F 15/66	3 6 0
G 0 1 B 11/00			G 0 1 B 11/00	H

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 19 頁)

(21)出願番号 特願平7-339236

(22)出願日 平成7年(1995)12月26日

(31)優先権主張番号 9 4 1 5 8 7 2

(32)優先日 1994年12月29日

(33)優先権主張国 フランス (F R)

(71)出願人 590000248

フィリップス エレクトロニクス ネムローゼ
フェンノートシャップ
PHILIPS ELECTRONICS
N. V.

オランダ国 アインドーフェン フルーネ
ヴァウツウエッハ 1

(72)発明者 ラウル フローラン

フランス国 94460 ヴァレントン シュ
マン レ ソルネット 1

(74)代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外4名)

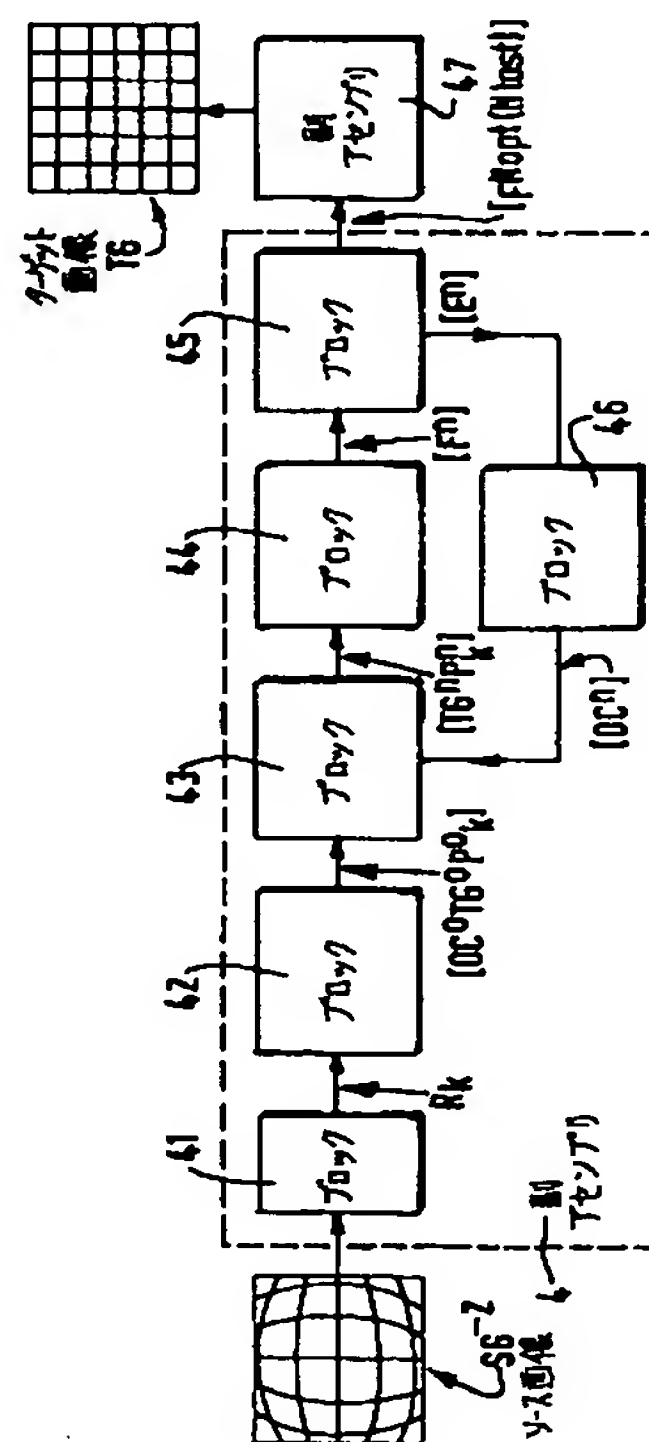
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画像形成装置および幾何光学的画像歪修正方法

(57)【要約】

【課題】 X線等撮像系の幾何光学的画像歪を自動修正するために、

【解決手段】 本発明装置に、歪んだソース画像 (S I) の撮像系 (1)、習得系 (2) およびデジタル化系 (3)、並びに、ソース画像 (S I) に対応して歪みを修正したターゲット画像 (T I) を構成するデジタル画像処理系 (4, 47) を備え、その画像修正系に、歪んだテスト・ソース画像 (S G⁰) のデータに基づいて、光学センタ (O Cⁿ) および光学センタ周辺の半径方向歪みを修正する多項式関数 (F_n) を決める第1副アセンブリ (4) と、その多項修正関数をターゲット画像 (T I) の各画素アドレスに適用して、ターゲット画像の初期アドレスに適用する強度データが存在する歪んだソース画像 (S I) 内の点のアドレスを求める第2副アセンブリとを設け、さらに、本発明方法には、テスト・ソース画像 (S G⁰) について、光学歪の中心における光学センタ (O Cⁿ) およびテスト・ターゲット画像 (T I) を構成するための歪修正用多項関数 (Pⁿ) の計算を含める。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 カメラ系 (1)、カメラ系によって歪んだソース画像 (S I) のデータ習得系 (2)、2次元マトリクスアドレスによって表示した各画素の強度データを蓄積する第 1 画像メモリを含む前記ソース画像 (S I) のデジタル化系 (3)、および、ソース画像に対応して歪みを修正したターゲット画像 (T I) を構成するデジタル画像処理系 (4, 47) を備え、当該画像処理系に、歪んだテスト・ソース画像 (SG^0) の画像データに基づいて、光学センタ (OC^n) および当該光学センタ周辺の半径方向歪みを修正するための多項式関数 ($E^{Nopt/Nlast}$) を予定する第 1 副アセンブリ (4)、並びに、当該第 1 副アセンブリが予定した光学センタおよび多項式関数を蓄積するメモリ、当該多項式修正関数をターゲット画像 (T I) の各画素アドレスに適用して、当該ターゲット画像内の初期アドレスに適用すべき強度データが存在する歪んだソース画像 (S I) 内の画素のアドレスを供給する計算ブロックおよび再構成したターゲット画像 (T I) のデータを蓄積する第 2 画像メモリを含む第 2 副アセンブリを設けた画像形成装置。

【請求項 2】 第 1 副アセンブリ (4) が、理論的格子 (TG^n) として参照するテスト・ターゲット画像を構成するためにソース格子 (SG^n) として参照する格子として形成したテスト・ソース画像を取扱うブロック群を含み、当該ブロック群が、ソース格子 (SG^0) のバー群の交点における基準点 (R_k) を抽出するブロック (41)、

第 1 近似理論的格子 (TG^0) を評価するとともに、当該第 1 理論的格子 (TG^0) のセンタ (GC^0) のアドレスおよびステップサイズ (GM^0) を計算するブロック (42)、

歪を修正した理論的格子 (TG^n) を評価するとともに、反復により当該修正理論的格子 (TG^n) のセンタ (GC^n) のアドレスおよびステップサイズ (GM^n) を計算するブロック (43)、

半径方向の歪の修正多項式を計算するとともに、反復 n で作用して修正理論格子の反復 n (TG^n) における点を歪んだソース格子の基準点 (R_k) まで通過させる変形規則を設定するブロック (44)、

反復 n の変形規則によってパターン誤差 (E^n) を計算するブロック (45)、および、パターン誤差を最小にする光学センタ (OC^n) の修正アドレスを計算するブロック (46) からなる請求項 1 記載の画像形成装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の装置に用いるカメラ系によって発生した幾何光学的歪を修正する方法において、

a) 二次元マトリクス内のアドレスによって表わした各画素の強度データの蓄積を含めて、データを習得するとともにテスト・ソース画像 (SG^0) をデジタル化

し、

b) 最良でテスト・ソース画像 (SG^0) の光学歪センタに位置する光学センタ (OC^n) および光学歪を修正したテスト・ソース画像を表わすテスト・ターゲット画像を参照して構成すべきデジタル画像 (TG^n) について計算した当該光学歪の比を評価し、

c) テスト・ソース画像の幾何光学的歪は歪センタ周辺で半径方向となるから、対応点 (TR^n , R_k) は、最良で、評価した光学センタ (OC^n) と一致する、という仮説に基づき、歪んだテスト・ソース画像の基準点で表わした対応点 (R_k) を歪修正テスト・ターゲット画像における画素 (TR^n) のアドレスに対応させるための多項式関数 (R^n) を評価する各準備段階を備えた幾何光学的画像歪修正方法。

【請求項 4】 前記準備段階中に、

d) 先行反復 (n) で評価した光学センタ (OC^n) 周辺の半径方向歪の仮説により先行反復 (n) で構成したテスト・ターゲット画像 (TG^n) の画素群の位置決めで実現したパターン誤差 (E^n) を $Nopt$ のオーダの反復で最小化し得る最良多項式関数 (F^{Nopt}) を評価し、

e) $Nlast$ のオーダの反復で最良化した修正光学センタ (OC^{Nlast}) を評価するとともに、最良評価光学センタ (OC^{Nlast}) 周辺の半径方向歪の仮説により再構成ターゲット画像の画素群の位置決めで実現したパターン誤差をさらに最小化し得る新たな多項式関数 ($F^{Nopt(Nlast)}$) を前記諸条件で再評価する反復段階を設けた請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】 あらゆる動作に対して 1 回準備段階が行なわれ、準備段階の始端で、

a) カメラ装置により一方向もしくは他の方向に歪んだソース画像 (S I) のデータを習得し、各画素の強度データをデジタル化するとともに蓄積し、

f) デジタル・ターゲット画像 (T I) の各アドレスに基づいて、構成すべきターゲット画像のアドレスに適用する強度データが存在する歪んだデジタル・ソース画像 (S I) の対応するアドレスを供給するために、構成すべきデジタル・ターゲット画像 (T I) に評価済み多項式関数 (F^n) を適用することにより光学歪を修正する段階を設けた請求項 3 記載の方法。

【請求項 6】 あらゆる動作に対して 1 回準備段階が行なわれ、準備段階の始端で、

a) カメラ装置により一方向もしくは他の方向に歪んだソース画像 (S I) のデータを習得し、各画素の強度データをデジタル化するとともに蓄積し、

f') デジタル・ターゲット画像 (T I) の各アドレスに基づいて、構成すべきターゲット画像のアドレスに適用する強度データが存在する歪んだデジタル・ソース画像 (S I) の対応するアドレスを供給するために、構成すべきデジタル・ターゲット画像 (T I) に最良評価済み多項式関数 ($F^{Nopt(Nlast)}$) を適用すること

により光学歪を修正する段階を設けた請求項4記載の方法。

【請求項7】 データを習得するとともにデジタル化する準備段階a)において、テスト・ソース画像が、一群が画素行列に平行、すなわち、ソース格子として参照する最近似光学歪に平行の方形網のデジタル画像であり、

段階b)において、ソース格子の一群の交点帯域毎に1点を抽出して抽出点をソース格子(SG^0)の基準点(R_k^0)として表わし、

ソース格子の歪中心に最も近い基準点(R_k^0)を評価し、格子(GC^0)の第1センタを構成するために第1ターゲット格子(TG^0)における基準点(R_k^0)を移転し、

前記ターゲット格子(TG^0)に対する第1格子ピッチ(GM^0)を評価し、

移転した基準点(R_k^0)と一致するとともに、格子(GC^0)のセンタと一致する第1ターゲット格子(TG^0)に対して第1格子光学センタ(OC^0)を評価する

各副段階により第1ターゲット格子(TG^0)として参照する第1歪修正テスト・ターゲット画像の構成からなる零反復に基づいて光学センタ(OC^n)が反復態様で評価される請求項3乃至6のいずれかに記載の方法。

【請求項8】 段階d)において、最良多項式関数($F^{N_{opt}}$)の反復評価が、

格子(GC^0)のセンタおよび格子段階(GM^0)に基づいて第1ターゲット格子の点(TR_k^0)をソース格子(SG^0)の一群の交点の基準点(R_k)に対応させて構成し、

格子(GC^0)のセンタを歪のセンタに最も近い基準点(R_k^0)に一致させて位置決めすることにより第1ターゲット格子(TG^0)の格子(TR_k^0)とソース格子(SG^0)の基準点(R_k)とを対応させ、格子点(TR_k^0)と対応する基準点(R_k)とからなる対(P_k^0)をターゲット格子(TG^0)のセンタから縁に向けて順次に形成し、

第1ターゲット格子(TG^0)の光学センタ(OC^0)とターゲット格子点および基準点(TR_k^0 , R_k)の対の各点とを結びつける切片群よりなる半径(X_k^0 , Y_k^0)の対を評価し、

既知の光学センタ(OC^0)の周辺では歪が半径方向である、との仮説に従って半径(X_k^0 , Y_k^0)の対を最良に結びつける関数として第1多項式関数(F^0)の零次反復の評価を設けた請求項7記載の方法。

【請求項9】 段階d)において、最良多項式関数($F^{N_{opt}}$)の反復評価が、

格子(GC^n)のセンタおよび格子ピッチ(GM^n)によって規定した光学センタ(OC^n)および格子点(TR^n)を有するn次のターゲット格子(TG^n)を構

成し、

先行反復で決まった座標によりターゲット格子(GC^n)のセンタを位置決めすることによりソース格子(SG^n)の基準点(R_k)にターゲット格子(TG^n)の格子点(TR_k^n)を対応させ、

格子点(TR_k^n)および基準点(R_k)の対(P_k^n)をターゲット画像(TG^n)のセンタから縁に向って順次に形成し、

既知の光学センタ(OC^n)と対(TR_k^n)の各点とを結びつける切片群によって形成した半径(X_k^n , Y_k^n)の対を評価し、

光学センタ(OC^n)の周辺では幾何学的歪が半径方向であるとの仮説に従って半径(X_k^n , Y_k^n)の対を最良に結びつける関数として多項式関数(F^n)を計算する各副段階からなる多項式関数(F^n)のn>0次反復における評価を備えた請求項8記載の方法。

【請求項10】 現下のn次反復におけるターゲット格子(TG^n)の構成が、

再生した光学センタ(OC^n)の位置決めをし、

先行(n-1)次反復で形成した対(P_k^{n-1})を構成する格子点(TR_k^{n-1})および対応する基準点(R_k)の位置決めをし、

再生光学センタ(OC^n)を通過するとともに、先行(n-1)反復で形成した対(P_k^{n-1})の対応する基準点(R_k)を通過する半径の格子点(TR_k^{n-1})の横座標の幾何学的歪(Δ_k^{n-1})を評価し、

最良に修正したターゲット格子は幾何学的距離(Δ_k^{n-1})の最小化に対応する、との半径方向の仮説を表わす半径方向の基準(Φ^n)として参照した基準を評価し、

(n)次反復でのターゲット格子ピッチの中心座標および成分を供給して、(n-1)次反復での格子ピッチの中心座標および成分の関数として表わした半径方向の基準(Φ^n)を最小化する各副段階を備えた請求項9記載の方法。

【請求項11】 最良光学センタ($OC^{N_{last}}$)を評価する段階e)が、現下の反復毎に、光学センタ(OC^n)の位置決めが、新たな多項式関数(P^n)を決めるとともに、対応するパターン誤差(E^n)を評価するために、修正され、ついで、現下のターゲット格子(TG^n)の構成に再導入され、センタ($OC^{N_{last}}$)の最良の位置決めが最良の多項式関数($P^{N_{opt}(N_{last})}$)に対応する最小パターン誤差に終るものとなる反復ループで実現される請求項10記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、カメラ系、カメラ系によって歪んだソース画像のデータ習得系、2次元マトリクスアドレスによって表示した各画素の強度データを蓄積する第1画像メモリを含む前記ソース画像のデジタル化系、および、ソース画像に対応して歪みを修

正したターゲット画像を構成するデジタル画像処理系を備えた画像形成装置に関するものである。

【0002】本発明は、かかるカメラ装置により画像に発生した幾何光学的歪の修正方法に関するものである。

【0003】本発明は、X線システムもしくはビデオ・システムあるいはデジタル画像システムの分野でデジタル化した画像の歪の修正に用いられる。

【0004】

【従来の技術】有意の幾何光学的歪は、かかるカメラで作った画像に、カメラの対物レンズによって導入され、その対物レンズが広角型である場合に著しい。かかる幾何光学的画像歪は、多くの場合樽型もしくは糸巻型であり、カメラの対物レンズが極めて良質のものであっても生ずるものである。

【0005】テレビジョンカメラの光学的不完全性を補償する装置は、英国特許明細書GB 2, 256, 989により、当業者にはすでに知られている。

【0006】この装置は、光学系が形成した画像を記録するカメラとその画像をテレビジョン化する手段とを備えており、各画素の電流強度の蓄積も含んでいる。

【0007】この装置は、幾何光学的な記録および色彩の誤差を補償するとともに、レンズ系の光学的不完全性を補償するための誤差修正器も備えている。

【0008】この誤差修正器は、修正制御ユニットによって制御され、その修正制御ユニットは、そのユニットをプログラムするのに適した外部情報成分をインターフェースを介して受取り、カメラのパラメータを考慮した制御信号を誤差修正器に与え得るようになっており、かかる条件のもとで、この誤差修正器は画素データを修正することが可能である。

【0009】誤差修正器においては、製図用メモリが、修正制御ユニットからの制御信号をカメラ系のパラメータに応じて受取る。この製図用メモリは、所定のレンズ型で所定のカメラ条件下にある光学系の欠点を修正するのに必要な製図を作成するために、カメラ系パラメータの関数として表にする。

【0010】この製図用メモリの出力は、出力画像の精細度を強めるのに用いる補間器に供給される。

【0011】製図用メモリは、正規の方形格子を有する撮像カメラにテストパターンを供給し、出力端に修正した格子が得られるように蓄積パラメータを手動調整することによって較正される。この動作は、網目線を施したスクリーンに装置の出力信号を表示するなどして実現することができる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】前掲の英国特許GB 2, 256, 989明細書から知られる装置は、カメラ系の不完全性を自動的に修正せず、レンズの焦点距離、カメラの距離、ズーム率などのデータを供給する必

要がある。その上に、製図用メモリは、レンズの種類毎に、また、カメラ条件毎に表を含まねばならず、それらの表には、ソース画像、すなわち、カメラ系から直接生じて不完全性につきまといわれたままの画像における画素群のものとアドレスと置換するために、ターゲット画像の画素群に割当てすべき新たなアドレスに関する情報を含んでおり、したがって、ターゲット画像は、ソース画像の歪から修正される。

【0013】製図用メモリのための自動作表手段やターゲット画像の画素群を得るためにソース画像の画素群に適用すべき修正関数を計算するための自動手段は、上述の資料には記載されておらず、製図用メモリの手動較正手段が、格子の歪んだターゲット画像の基準網線に対する重畳やカメラ系の入力パラメータの手動修正を含めて記載されているに過ぎない。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の目的は、修正したターゲット画像を構成し得る画素データを得るために、カメラ系の光学的歪の修正関数を計算する装置および方法を提供することにある。

【0015】本発明の他の目的は、かかる修正関数を、カメラ系のパラメータを考慮する要なしに自動的に計算する装置および方法を提供することにある。

【0016】これらの目的は、画像処理系に、歪んだテスト・ソース画像の画像データに基づいて、光学センタおよび当該光学センタ周辺の半径方向歪みを修正するための多項関数を予定する第1副アセンブリ、並びに、当該第1副アセンブリが予定した光学センタおよび多項式関数を蓄積するメモリ、当該多項式修正関数をターゲット画像内の初期アドレスに適用すべき強度データが存在する歪んだソース画像内の画素のアドレスを供給する計算ブロックおよび再構成したターゲット画像のデータを蓄積する第2画像メモリを含む第2副アセンブリを設けた冒頭に記載した種類の装置によって達成される。

【0017】カメラ系により画像に生じた光学的歪の修正方法は、a) 二次元マトリクス内のアドレスによって表わした各画素の強度データの蓄積を含めて、データを習得するとともにテスト・ソース画像をデジタル化し、

b) 最良でテスト・ソース画像の光学歪センタに位置する光学センタおよび光学歪を修正したテスト・ソース画像を表わすテスト・ターゲット画像を参照して構成すべきデジタル画像について計算した当該光学歪の比を評価し、

c) テスト・ソース画像の幾何光学的歪は歪センタ周辺で半径方向となるから、対応点は、最良で、評価した光学センタと一致する、という仮説に基づき、歪んだテスト・ソース画像の基準点で表わした対応点を歪修正テスト・ターゲット画像における画素のアドレスに対応させ

るための多項式関数を評価する各準備段階を備えている。

【0018】かかる修正方法は、前記準備段階中に、
d) 先行反復 n で評価した光学センタ $O C^n$ 周辺の半径方向歪の仮説により先行反復 n で構成したテスト・ターゲット画像 $T G^n$ の画素群の位置決めで実現したパターン誤差 E^n を N_{opt} のオーダの反復で最小化し得る最良多項式関数 $F^{N_{opt}}$ を評価し、

e) N_{last} のオーダの反復で最良化した修正光学センタ $O C^{N_{last}}$ を評価するとともに、最良評価光学センタ $O C^{N_{last}}$ 周辺の半径方向歪の仮説により再構成ターゲット画像の画素群の位置決めで実現したパターン誤差をさらに最小化し得る新たな多項式関数 $F^{N_{opt}(N_{last})}$ を前記諸条件で再評価する反復段階を設けてある。

【0019】

【実施例】以下に図面を参照して実施例につき本発明を詳細に説明する。

【0020】I 装置 (図1のA, 図2)

カメラ系は、一般に、このカメラが形成した画像に幾何光学的歪を生ずる広角型の光学レンズ系もしくはズームレンズ系を含んでおり、かかる画像歪は光学系が極めて良質であっても現われるものである。

【0021】図1のAを参照するに、画像形成装置は、光景の歪み画像を供給する光学レンズ系よりなるカメラ系1を備え、この光学レンズ系1は、光学画像を例えばCCDにより電気信号に変換するカメラ2に取付けられている。かかる電気信号は、デジタル化系3に印加され、そのデジタル化系3は、デジタル化画像データ、すなわち、2次元マトリクスの画像の画素群の各アドレスに関連した強度データを第1画像メモリに歪み画像データとして蓄積する。

【0022】本発明画像形成装置は、デジタル信号処理系も備えており、この信号処理系は、デジタル化系3の画像メモリに蓄積したデジタル化画像データを処理する副アセンブリ47を備え、歪を修正して再構成した対応デジタル画像のデータを供給して、最終的に第2画像メモリに蓄積する。

【0023】デジタル化系3の出力端におけるカメラ系で歪んだ画像に関連したデジタル画像データを以下ではソース画像 $S I$ と呼び、画像処理系の副アセンブリ47が供給する歪修正再構成画像に関連したデジタル画像データを以下ではターゲット画像 $T I$ と呼ぶ。

【0024】画像処理系の副アセンブリ47は、チップカード上もしくはルックアップテーブル上に、修正済みターゲット画像 $T I$ を構成するための歪修正用定規を備えており、その定規は幾つかの準備段階を備えた方法によって決められる。本発明の目的の一つは、かかる歪修正用定規を自動的に決める方法を提供することにある。この修正用定規は、画像処理系の第1副アセンブリ4におけるあらゆる動作によって一度に決められ、ついで、

画像処理系の第2副アセンブリと呼ぶ副アセンブリ47によって自動的に適用される。画像処理系の第1副アセンブリ4は、修正用定規が決まってしまうと、図1のAに示すスイッチ $I N T$ により切離される。

【0025】画像処理系の第1副アセンブリ4で行なわれる修正用定規の決定方法については引続き説明するが、この第1副アセンブリ4は、デジタル化系3の延長とすることもでき、あるいは、デジタル化系3に集積することもできる。

【0026】本発明画像形成装置においては、図1のAおよび図2に示すように処理系の第1副アセンブリ4で計算段階を実行して、

* カメラ系1で生じた幾何学的歪を修正するための定規、

* 多くの場合カメラのレンズ系の光学センタともなる幾何学的歪のセンタの精密な位置を一挙に決定し、

b) 画像処理系の第2副アセンブリ47で計算段階を実行して、上述の修正用定規と歪んだソース画像 $S I$ 毎の歪のセンタの知得とにより歪修正済みターゲット画像 $T I$ を構成する。

【0027】引続いてつぎの説明を行なう。

* 幾何学的歪を修正するとともに歪センタの精密な位置を決めるために第1副アセンブリ4で実行する定規決定の方法

* 上述の知得により第2副アセンブリ47で実行するターゲット画像 $T I$ の構成方法。

【0028】II 修正用定規および歪センタの決定方法 (図1のブロック4, 図2のブロック41乃至46)

修正用定規および歪センタの精密な座標を一括決定する方法を、種々の段階をブロック図で示す図2を参照して以下に説明する。

【0029】この方法は、焦点距離の測定、カメラ距離の測定、テストパターンピッチの実測などの準備測定を必要としない。

【0030】この方法は、カメラ系で生じた幾何学的歪は半径方向である、すなわち、画像処理系の第2副アセンブリ47で構成されたターゲット画像においては、修正された画素点は、歪んだ画素点と歪センタによって決まる半径上に存在すべきである、という仮説に基づくものである。かかる理由により、この方法は、修正用定規の決定に加えて、歪センタの精密な一括決定を必要とし、さもないと、予備的な精密実測を全く要しないことになる。この方法における目標は、歪センタ周辺における歪は半径方向であるという事実に関心があるのはソース画像の歪センタのみであるから、カメラの光学的センタの位置決め手段、例えば、センサ、による精密測定ではない。

【0031】図2を参照するに、第1副アセンブリ4で実行するこの方法は、少なくともつぎの各段階を備えている。

【0032】IIA パターンの習得

この段階はつぎの副段階を備えている。

【0033】IIA 1 パターンの構成 (図1のA)

テスト・パターンMが実現される。

【0034】そのためには、平面の固い支持板上に格子を設計して実現するのが好適である。この格子の網目は、正方形もしくは長方形とすることができ、一例では、このパターンを、1m×1.50mの白い支持板上に、図1のAにおけるMに示すような水平および垂直の黒いバー群を表わして設計することができる。

【0035】IIA 2 カメラの較正 (図1のA, 図1のC, 図3のA)

カメラは、パターンMの網画像を習得するために、パターンMの面に正対して配置される。較正は撮像の前に実現される。この較正は、

- ・ 図1のBに示すように、パターンMの支持平板を撮像カメラの光学軸 X' に垂直にし、
- ・ 図1のCに示すように、格子のバー群をカメラ2のCCD要素の行および列に平行にし、
- ・ 図3のAに示すようにカメラの像平面全体が格子の方形群によって覆われるようにして格子の支持平板を配置することによって行なわれる。

【0036】したがって、較正の条件は、本質的に直交性の3条件を立証することからなり、そのうちの2条件はカメラの光学軸 X' をパターンの平面に垂直にしたときに立証され、第3の条件はパターンの格子のバー群がカメラのCCD要素群の直交行列に平行になったときに立証される。

【0037】較正動作は、単純に方形群を用いて行なわれる。この較正は、本発明による修正方法がこの較正にあり得る不完全性に堪え得るように見えるので、強制的ではない。

【0038】IIA 3 ソース格子と呼ぶパターンとして役立つ格子の画像の習得 (図1のA, 図3のA)

光学レンズ系1を備えたカメラ2により、パターン格子Mの焦点調整および撮像が実現される。デジタル化系3は、図3のAに示すように光学歪を有するソース格子 SG^2 と呼ばれる格子の形でデジタル化画像を提供する。

【0039】歪は、図7のAに示すような糸巻型もしくは図5のBおよび図3のAに示すような樽型となる。

【0040】IIB 基準点 R_k の抽出 (図2のブロック41)

歪んだソース格子の画像は、図1に示すデジタル化蓄積手段3でデジタル化して蓄積される。

【0041】図3のAを参照するに、歪んだソース格子 SG^2 の垂直および水平のバー群の交差点は、ソース格子 SG^2 のデジタル化画像における基準点 R_k と以下では呼ぶ。水平および垂直は、較正の結果として、カメラのCCD要素の行群および列群にそれぞれ平行である

ことを意味する。

【0042】信号に関する限り、

- ・ 基準点 R_k について、 k は、ソース格子の基準点を数え得る指数、例えば1乃至500であり、
- ・ ソース格子、例えば、 SG^2 の画像について、指数は画像処理段階を数えることを許すものであり、ここで、指数(2)は、この段階が、修正用定規および光学センタを決めるのに用いたソース格子画像 SG^0 を提供する段階より前の2番目であることを示すものである。

10 【0043】図2を参照するに、本発明による方法の各段階を構成する一連の動作は、つぎの各副段階、すなわち、

- ・ 交差区域の強度を増大させるためのソース画像の濾過
- ・ 濾過した画像強度の閾値化
- ・ 交差区域を形成して各区域のバリセンタを抽出するための閾値化した点の札付けにより、ソース画像における交差点のアドレスの決定によってソース格子 SG^2 の画像の基準点 R_k の抽出からなるブロック41で行なう第1段階を備えている。

20 【0044】IIB 1 濾過による交差区域の強度レベルの上昇 (図3のB, 図2のブロック41)

テストパターン格子のバー群を白く明るい背景上に黒く表わして例示した場合には、垂直および水平のバー群の交差区域は、図3のAに示すように黒くなる。この副段階では、歪んだパターン SG^2 のデジタル化画像を処理して交差区域を明るくするとともにその画像の残部を暗くし、その結果、図3のBに示すようなソース格子 SG^1 の画像が得られる。

30 【0045】この動作は、十字形を有する相関マスクに対応する線形濾過器による線形濾過動作よりなる当業者周知の第1方法によって実行される。

【0046】格子の形のテストパターンの替りに、ドット群のテストパターンを選ぶこともできるが、経験によれば、ドット・テストパターンのカメラ画像は、ぎらつき効果の故に、格子形のテストパターンより不満足なものとなる。格子の形のテストパターンの画像は、本発明による歪修正方法を満足に行なうのにより有用な情報を供給し得る、という追加の利点を有している。

40 【0047】ここで、周知の線形濾過動作より効果的な非線形濾過動作を用いる方法を提案する。この非線形濾過動作の通常の線形濾過に対する利点は、

- ・ ぎらつきが生ぜず、
- ・ 交差点の歪みに堪え、
- ・ 実行し易い

ことである。

【0048】格子のデジタル化ソース画像について行なう基準点抽出の段階では、格子バー群の交差による強度の増大が本質的であり、したがって、極めて良好な濾過動作を実現することが重要である。

50 【0049】格子の水平バーと垂直バーとの交差を図5

のAに模式的に示す。水平バーおよび垂直バーの縁は、歪んだソース画像における歪んだ線で示してある。

【0050】この段階では、図3のAにおけるソース画像SG²の各点で濾過器を用いる。その濾過動作により、

- ・ 濾過器のセンタC
- ・ 四個の基本方位点S, N, E, W
- ・ 四個の対角点SE, SW, NE, NW

が決まる。

【0051】濾過器のセンタCの周囲のこれらの8点は 10 距離d1およびd2によって完全に規定され、

・ d1は、センタCと基本方位点との画素間で測った距離であり、 $d1 = C-S, C-N, C-E, C-W$

・ d2は、センタCと対角点との画素間で測った距離であり、 $d2 = C-SE, C-SW, C-NE, C-NW$

【0052】距離d1は、基本方位点が格子のバーの設計内に位置し、センタCが交差区域内に位置するように選定する。この結果は、距離d1を1乃至5画素の程度、一般に、歪んだ画像の画素数で測った格子バー幅の半分程度に選定することによって得られる。 20

【0053】距離d2は、対応する対角点が画像の基底部、すなわち、格子バーの領域外に位置するように選定する。その効果は、デジタル化画像における歪んだ格子のピッチの半分程度に画素数で測った距離d2を選定することによって得られ、例えば、50画素程度のピッチを有する格子では、d2を20画素にする。

【0054】当業者が、何ら精確さを要せずに、通常のテストにより決定し得る合理的な距離d1およびd2を選定することにより、この濾過動作は、歪んだ画像の最強の歪がある領域においても、濾過器のセンタが交差区 30 域内に在れば、基本方位点S, N, E, Wは格子のバー設計の領域内に在り、対角点は基底部に効果的に位置していることを啓示することができる。

【0055】画像SG²の濾過より前に白地に黒バーで形成した格子の例では、センタと4個の基本方位点とからなる5点は、それぞれ低い強度を有しており、一方、4個の対角点は、比較的高い強度を有している。

【0056】本発明による非線形濾過動作によれば、つぎのようなFILT基準の測定で表わされる測定が実現される。

$$FILT = \text{Min} (NW, NE, SE, SW) - \text{Max} (C, N, S, E, W)$$

この基準においてMin (NW, NE, SE, SW) は、対角点に関連した最小強度値が見出されることを意味し、Max (C, N, S, E, W) は、センタを含めた基本方位点に関連した最大強度値が見出されることを意味する。

【0057】濾過器が交差点にその中心を正しく合わせたときには、各対角点は通常大きい強度を有するので、対角点群の強度に見出した最小値さえ比較的大きい。 50

方、センタおよび基本方位点の5点は、それぞれ、小さい強度を有しているので、かかる5点の強度に見出した最大値さえ比較的小さい。その結果として、前述のMinとMaxとの間には大きい差がある。

【0058】図3のAの歪み画像の各点におけるFILT基準の数値決定を非線形濾過器が実現し、FILT基準の計算結果が本発明による非線形濾過器の出力を構成する。

【0059】交差の検出領域は、この基準の測定が最大となる領域であり、この濾過作用から得られる画像は、新たなソース格子SG¹であり、図3のBに示すように、交差の領域は強度を増大させ、歪んだソース画像の他の領域は暗くなることを示す。

【0060】IIB2 各点の増大した強度の閾値化 (図2のブロック41, 図3のC)

交差区域の各点の強度を増大させる副段階の後に、それら各点の強度を閾値化する副段階が実現される。

【0061】ここで、前述の基準点を検出するために閾値化副段階を実行する方法を提案するが、この方法によれば、強調した画像SG¹において最強の強度を有する点の個数を表わす基準数Nbを選定することによって閾値化副段階が実行される。

【0062】図3のAに示すように歪んだソース格子SG²の画像を習得した当業者は、

- ・ その画像における交差点の個数N1の勘定、
- ・ デジタル化を考慮した、一交差区域に含まれる画素の概数の勘定、なお、各交差区域は四つの側面を有しており、その表面は、図5のAに例示したように、歪画像における格子の水平および垂直のバーの画素群の厚さの積で与えられる、
- ・ 歪み画像における交差点の個数N1の一交差区域における画素の概数N2による積に等しい探求数Nbの計算を行なう。

【0063】この探求数Nbが閾値を構成する。

$$\text{【数1】 } Nb = N1 \times N2$$

この閾値の助けにより、交差区域に属する画素群を抽出する。この抽出は、強調した画像SG¹における濾過作用後に最高強度を有する画素群について計算した個数Nbに等しい数を記憶することからなっている。

40 【0064】この目的で、各強度レベル毎に、その強度を有する画素数を勘定して棒グラフ表示を実現する。最高強度レベルから出発して、強度レベルを下げる度に画素数を合計して閾値化動作を行ない、閾値数Nbに到達すると、その合計を終了する。このようにして最高強度を有する画素群が記憶され、その強度およびアドレスデータが蓄積される。

【0065】この閾値化動作の開始に当って、テスト格子から実現した画像は、棒グラフにおける閾値Nbに対応する強度と比較してより高いか等しい強度を有するある個数の画素群を含んだ明るい区域のみからなってお

り、背景は、一様に暗く、図3のBの画像 SG^1 の濾過後に見られるバーの細部は取除かれている。

【0066】IIB3 閾値化点のレベル表示と交差区域の重心の計算（図3のC、図2のブロック41）

先行閾値化副段階の期間に抽出された画素群は、レベル表示の方法によって再群別され、再群別された閾値化画素群をそれぞれ複数群含んだ交差区域が識別され、ついで、それぞれの重心が計算される。

【0067】各重心の計算のために、各交差区域は、複数画素を含む区域の重心の計算の結果であるから必ずしも整数である必要のない一对の座標によって決まる単一点に取出される。

【0068】図3のCを参照すると、このようにして抽出された重心は、このようにして得られたソース画像 SG^0 の各基準点を数えるための数字を k として基準点 R_k と以下で呼ぶ点を構成する。

【0069】いま得られたソース画像 SG^0 におけるアドレスは、計算した重心の座標によって与えられる各 R_k に対応する。その座標は、このソース画像 SG^0 に用いられる固定の座標記号 Ωx 、 Ωy に対して x 軸上の r_{xk} と y 軸上の r_{yk} とによって表わされる。この座標記号は直角であって、この画像の画素群の行および列にその軸が一致する。

【0070】図3のCにおいては、抽出された基準点 R_k の重心は設計の便宜上白地上の黒点で表わされるが、前述の例では実際には黒地上の白点である。

【0071】IIC 理論的格子の評価（図2のブロック42）

この発明的方法は、幾何学的歪を修正してある図3のCのソース画像の格子 SG^0 を表わす理論的格子 TG^0 と呼ぶ格子からターゲット画像を構成する段階を備えている。

【0072】その段階の開示に当り、本発明による方法は、ソース格子 SG^0 の画像データから極めて精確に修正済みの理論的格子 TG^0 を構成することを許す変形機能を備えており、この画像データは、基準フレーム Ωx 、 Ωy における基準点 R_k の座標 r_{xk} 、 r_{yk} によって最初に構成される。

【0073】本発明によれば、構成すべきターゲット画像に関して歪のセンタの周囲では、ソース画像が半径方向に歪んでいる、との仮説に基づいて構成される。

【0074】図3のCに示すような改良した理論的格子の精密な構成に到達するには、この発明方法は、第1の理論的格子 TG^0 を構成するためのつぎの副段階を備えた図2のブロック42の段階をまず備えている。

・ターゲット格子のセンタと呼ばれ、 GC^0 で表わされ、第1の理論的格子の水平および垂直のバーの交点に位置し、 x 軸が画素群の行に平行で y 軸が画素群の列に平行であり、原点がソース画像 SG^0 における固定の基準フレームの原点 Ω に対応する第1の理論的格子の直角

の基準フレーム Ωx 、 Ωy の画素座標 gcx^0 および gcy^0 によって参照される点の評価、

・第1の理論的格子 TG^0 に対して近似の歪センタと考えられる光学センタ OC^0 の位置の決定、

・固定の基準フレーム Ωx 、 Ωy における x 軸および y 軸によって第1のターゲット格子のバー群の交差点間における画素間の距離 gmx^0 、 gmy^0 によって規定される第1の理論的格子に対するピッチ GM^0 の評価、

・第1の理論的格子の点 TR^0 の歪んだソース格子 SG^0 の基準点 R_k への対応。なお、第1の理論的格子のバー群の交差点に位置する点 TR^0 の位置決めは、この第1の理論的格子について実現されたセンタ GC^0 およびピッチ GM^0 の評価に基づいて規定される。

【0075】図3のCをはじめ、この説明に用いる図面においては、ソース画像の基準点 R_k を小丸で示し、理論的格子の交差点 TR^0 を白地に黒の小十字で示し、各点の本当の強度レベルには無関係にして図面を簡単化してある。

【0076】IIC1 第1理論的格子のセンタ GC^0 の評価

この第1の理論的格子は、センタ GC^0 およびピッチ GM^0 が決まるや否や全体が規定される。理論的格子のバー群は互いに直交しており、整然と間隔をとってあり、理論的格子のセンタは、その画像の任意の場所に、画像の外側にさえ位置し得ることに留意すべきである。

【0077】この段階では、第1の理論的格子に対するセンタ GC^0 の評価は、その第1の理論的格子 TG^0 のピッチ GM^0 の評価を容易にするために、歪んだソース格子の歪みのセタンの周囲で行なわれる。

【0078】半径方向の放射状歪の仮説を適用すれば、ソース格子 SG^0 の歪の本当のセンタは、そのソース画像の歪が最小となる領域に位置することになる。

【0079】第1の理論的格子のセンタ GC^0 の評価は、したがって、つぎの一連の動作を備えている。

・ソース格子 SG^0 の画像の歪のセンタの近傍における基準出発点 R_k^0 の評価

・この出発点 R_k^0 の格子 GC^0 のセンタとしての転換および第1の理論的格子 TG^0 の画像における近似の光学センタ OC^0 としての転換。なお、第1の理論的格子の光学センタは、図1のAにおけるカメラ1、2の光学センタとは相違する。

【0080】IIC1a ソース画像 SG^0 の歪センタ近傍の基準点 R_k^0 の評価（図2のブロック42、図5のB）

一般に、ソース画像 SG^0 の歪センタに最も近い R_k^0 で表わす基準点の評価を行ない得る任意の機能を用いることができ、この動作を実行する簡単な近似の方法を以下に示す。

【0081】図5のBを参照するに、図3のCに示すようなソース格子の基準点 R_k^0 は、歪センタの近傍にあ

るとともに、ソース格子 SG^0 の歪最小領域に位置している。図 5 の B は、 R_{ka}^0 で表わす基準点とその基準点 R_{ka}^0 を取巻く近傍基準点のアセンブリ S_{ka}^0 とを示すものであり、その基準点アセンブリ S_{ka}^0 は、つぎの二つの基準点副アセンブリに分解することができる。

・ソース画像の格子の基準出発点 R_{ka}^0 と同一水平バー上に位置する基準点群よりなる HS_{ka}^0 で表わした水平副アセンブリ、

・ソース画像の格子の基準出発点 R_{ka}^0 と同一垂直バー上に位置する基準点群よりなる VS_{ka}^0 で表わした垂直副アセンブリ。

【0082】ソース格子 SG^0 の基準点群の中で、本当の歪センタに最も近い基準点 R_k^0 を探索する。

【0083】基準点 R_k を決定するために、当業者は、図 5 の A に示した濾過段階 I B 1 における図 3 の A に GM^1 で表わしたソース格子のピッチをすでにほぼ決定している。ソース格子のこの近似ピッチは、ソース画像の*

$$AL(ka) = \sum_{S_{ka}} [(0,5 \text{ gmx}^{-1} - |rx_k - rx_{ka}|)^2 + (0,5 \text{ gmy}^{-1} - |ry_k - ry_{ka}|)^2]$$

ここに、 rx_k , ry_k は、副アセンブリ HS_{ka}^0 および VS_{ka}^0 のそれぞれの基準点 R_k の座標であり、 rx_{ka} , ry_{ka} は、歪センタに最も近い、基準点 R_k を形成するテスト済み基準点の座標である。

【0087】提案基準 $AL(ka)$ は、図 3 の C のソース格子 SG^0 の各基準点アセンブリ S_{ka}^0 について計算され、つぎのようになる。

・この基準 $AL(ka)$ によって表わされる測定が大きいほど、それだけ多くこのアセンブリ S_{ka}^0 に関係する基準点が存在し、したがって、テスト済み基準点により十分に調整されて、このテスト済み基準点 R_{ka}^0 に対し、近似ピッチの水平成分 gmx^1 および垂直成分 gmy^1 の半分に等しい幾何学的距離を通過しないソース格子 SG^0 の基準点が増加し、

・したがって、この基準は、わずかに歪んだ領域の全く満足な記述となる。

【0088】調整基準 $AL(ka)$ の計算においては、アセンブリ S_{ka}^0 の基準点は、テスト済み基準点 R_{ka}^0 から遠いほど小さい重みを与えられることになる。

【0089】IIC 1 b 構成すべき第 1 理論的格子 TG^0 における保留基準点 R_k^0 の転換

図 3 の C に示すソース格子 SG^0 の基準点 R_k は、提案の調整基準 $AL(ka)$ の適用によってテストされ、その基準の測定が最大となる基準点 R_k^0 が保留される。この保留基準点 R_k^0 は、構成すべき理論的格子 TG^0 の画像に転換され、ついで、第 1 理論的格子 TG^0 のセンタ GC^0 として参照され、その座標 gxc^0 および gcy^0 が基準フレーム Ωx , Ωy 内に蓄積される。ここで留意すべきこととして、理論的格子における格子のセンタは、つねにバー群の交差点にある。

* 座標軸 Ωx および Ωy に沿った二つの距離 gmx^1 および gmy^1 で表わされる。

【0084】本発明によれば、近似ピッチ GM^1 の水平・垂直成分に等しい水平帯域および垂直帯域の長さ gmx^1 および gmy^1 に関する調整基準が提案され、それらの帯域はテスト済み基準点 R_{ka}^0 に中心を置いている。これらの帯域では、副アセンブリ HS_{ka}^0 および VS_{ka}^0 をそれぞれ形成する基準点群を選定する。

【0085】半径方向の放射状仮説からすれば、テスト済み基準点 R_{ka}^0 が歪センタに近ければ近いほど、それだけ多くの副アセンブリ VS_{ka}^0 および HS_{ka}^0 の基準点が調整され、長さ gmx^1 および gmy^1 を有する図 5 の B に示すような各帯域の副アセンブリの基準点群がそれだけ増加することになる。

【0086】図 5 の B を参照すれば、つぎの調整基準が提案される。

【数 2】

【0090】第 1 理論的格子の光学センタ OC^0 も、このセンタ GC^0 と一致するように選択される。理論的格子の光学センタは、以下では、この方法の目下の段階で判っている最良の歪センタと呼ばれる。

【0091】IIC 2 第 1 理論的格子に対するピッチ GM^0 の評価

開始から第 1 理論的格子 TG^0 に対する格子センタ GC^0 を評価する先行副段階までの過程の各位相で当業者が用いる格子ピッチの概略値 GM^1 は、ここで改善されなければならない、そのために、第 1 理論的格子のピッチを計算する方法を以下に提案し、つぎの二つの濾過作用によって実施する。

・第 1 理論的格子のピッチ

【外 1】

GM^0

の生長値を決定する第 1 濾過作用、

・第 1 理論的格子 TG^0 の構成に対してピッチ GM^0 のさらに精密な値を決定する第 2 濾過作用。

【0092】IIC 2 a 第 1 理論的格子に対してピッチ GM^0 の生長値を決定する第 1 濾過作用 (図 6 の C)

先行副段階においては、第 1 理論的格子の構成に対する格子センタ GC^0 が、ソース画像 SG^0 の歪センタに最も近い基準点 R_k^0 として評価されている。

【0093】図 5 の B を参照するに、基準点のアセンブリ S_k^0 はこの基準点 R_k^0 と組合わされ、つぎの二つの基準点副アセンブリに分解されることができる。

・ソース画像 SG^0 における基準点 R_k^0 と同一水平バー上に位置した基準点群からなり、近似格子ピッチ GM^1 の垂直成分である高さ gmy^1 を有する水平帯域で境界を施した HS_k で表わす水平副アセンブリ、

17

・ ソース画像 SG^0 における基準点 R_k^0 と同一垂直バー上に位置した基準点群からなり、近似格子ピッチ GM^1 の水平成分である長さ gmx^1 を有する垂直帯域で境界を施した VS_k^0 で表わす垂直副アセンブリ。

【0094】図6のAを参照するに、第1理論的格子に対するピッチの2成分 gmx^1 および gmy^1 の第1総合計算は、

・ 水平副アセンブリ HS_k^0 の基準点間の距離 HD_k^0 に適用した中間濾過器により固定基準フレームの Ω_x 軸に沿った成分

【外2】

$$gmx^{\infty}$$

を計算し、

・ 垂直副アセンブリ VS_k^0 の基準点間の距離 VD_k^0 に適用した中間濾過器により固定基準フレームの Ω_y 軸に沿った成分

【外3】

$$gmy^{\infty}$$

を計算することによって実行される。

【0095】そのためには、基準点群を水平副アセンブリ HS_k^0 中に配列するとともに、垂直副アセンブリ中にも配列し、ついで、基準点間の距離の値を計算して、その値を最小値から最大値まで配列する。ついで、中間濾過器を、アセンブリ HS_k^0 および VS_k^0 において水平および垂直に配列した値に適用して、【外2】に対し水平に配列した値と【外3】に対し垂直に配列した値との中間に位置する値を保留する。

【0096】中間濾過器は、処理済み基準点の位置決め誤差に抵抗し得る結果を与える利点を有しており、その結果は、基準点が抜出されていないために見失なわれた場合や抜取った基準点が誤って存在する場合にも、処理済み基準点の水平もしくは垂直の帯域内で特に正しいままである。この中間濾過器は、平均値の簡単な計算より良好な結果を与える。

【0097】濾過作用の第1位相で行なわれる測定は、第1理論的格子の構成におけるピッチの総合値に対して強い対【外2】，【外3】を構成する。しかしながら、その総合値は第1理論的格子を構成するのに十分な精確度を有していない。この理由で、この構成を開始するのに十分な精確度を有する格子ピッチの値を得るために、第2濾過作用が行なわれる。

【0098】IIC 2 b 第1理論的格子の構成用にピッチ GM^0 のさらに精確な値を決定する第2濾過作用 (図2のブロック42, 図6のB)

図6のBを参照するに、ソース画像 SG^0 の歪センタに最も近い基準点として保留した基準点 R_k^0 の周囲に位置する8基準点の副アセンブリ S'_k^0 を選定する。かかる8近隣点のそれぞれは、第1計算で決まったピッチ

【外1】の近似値を用いて探求され、第1計算に最良に対応した基準点として識別される。

18

【0099】中間濾過器は、上述のように規定された基準点相互間の間隔の値に作用するようにも用いられる。かかる第2の濾過作用には、6水平間隔 HS_k^0 および6垂直間隔 VS_k^0 が用いられ、これらの間隔は、値が増える順に配列され、 GM^0 で表わされる格子ピッチの水平および垂直の成分 gmx^0 および gmy^0 の新たな値が中間濾過作用によって決まるが、それらの成分は、水平および垂直に配列した値の中間に位置し、濾過作用はソース画像の歪センタに近く、最小歪を呈する領域のみで実現されるので、先行段階の濾過作用で決まる値よりも精確である。

【0100】ここで留意すべきこととして、かかる濾過作用のいずれにおいても、中間濾過器を通過するのに用いる基準点は、誤ったり、見失われることがあり得る。しかしながら、これら第1および第2の濾過作用が、考慮した間隔の中間値の選択に基づいている、という事実によれば、その結果は大して影響がない。

【0101】二つの濾過作用で行なわれた副段階の終端における結果は、

・ 強力な測定、および、

・ 第1理論的格子の構成のためのピッチ $GM^0 = (gmx^0, gmy^0)$ の十分に精確な測定

であり、それらのデータは蓄積される。

【0102】本発明による方法においては、本発明が修正関数を自動的に決定する方法の提供に直面しているが故に、第1理論的格子を構成するための画像開始データの強度、すなわち、

・ 歪センタ近傍の基準点 R_k^0 の座標によって決まる格子 GC^0 のセンタ

・ R_k^0 によって決まる光学センタ OC 。

・ 格子 GM^0 のピッチ

が極めて重要である。

【0103】IIC 3 ソース格子 SG^0 の基準点 R_k から形成した第1対 P_k^0 および第1理論的格子 TG^0 の点 TR_k^0 の評価 (図2のブロック42)

固定基準フレーム Ω_x, Ω_y における

・ 格子センタ GC^0 の座標 gcx^0, gcy^0

・ 格子ピッチ GM^0 の成分 gmx^0, gmy^0

の知識により、 TR_k^0 で表わす交差点をその固定基準フレームに配置することにより、第1理論的格子が構成され、ここに、 m は理論的格子における各交差点の勘定を可能にする指数である。

【0104】この段階では、図3のCに示すような基準点群がソース画像 SG^0 および上述したような第1理論的格子 TG^0 に用いられる。これらの2画像 SG^0 および TG^0 から出発して、基準 P_k から形成された対応基準点の対 P_k^0 および理論的格子点 TR_k^0 が第1に決定される。

【0105】この対応は

【数3】

19

$$P_k^0 = [R_{f(k)}, TR_{g(k)}^0]$$

の形で記載され、ここに、 f および g は、ソース格子の基準点 R_k と理論的格子の探求した交差点 $TR_{g(k)}^0$ との対応の関数である。実際に、ソース格子 SG^0 における基準点 R_k に対応するために理論的格子 TG^0 で見出した基準点 $TR_{g(k)}^0$ が基準点 R_k と同じ番号および同じ指数を有することを示すものはない。

【0106】例えば、 SG^0 における R_k は番号 100 ($k=100$) を有するのに対し、 TG^0 における $TR_{g(k)}^0$ は番号 200 ($m=200$) を有する。この場合、点 R_k と $TR_{g(k)}^0$ とが対をなす場合には $f(k) = g(k)$ すなわち $f(100) = g(200)$ と書き、対 P_k^0 の各点の対応関係が決まり、例えば $f(100) = g(200) = 120$ となる。

【0107】格子センタ GC^0 の近傍の歪が小さい領域においては、対応を実現する動作は、簡単な近接基準に基づき互いに最も近接している基準点 $R_{f(k)}$ と第 1 理論的格子の基準点 $TR_{g(k)}^0$ とからそれぞれ形成された対 P_k^0 を選定することからなっている。

【0108】センタから離れるにつれて、理論的格子の基準点が先験的に良い候補と見られる複数の基準点から選んだ基準点に対応させられる状態にあれば、対の基準点が段々に互いに離れてソース画像 SG^0 の縁に向うので、上述のような態様の動作は最早使えなくなる。

【0109】この問題を解く目的で、格子センタ GC^0 から出発して、この第 1 理論的格子中に、バー群の交差点に位置する格子センタ GC^0 により、その GC^0 と一致する基準点 R_k^0 とともに構成する第 1 の対を形成し、ついで、格子センタ GC^0 の周囲に第 2 の対 P_k^0 を構成し、引続き、かかる第 1 および第 2 の対について習得した知識に基づき、以下に述べる方法により、格子センタ GC^0 を通って縁に向い、1 ピッチずつ進んで段々に、新たな対が構成される。

【0110】この方法によれば、格子センタ GC^0 を通って画像の縁に向い、最初は 1 ピッチずつ進んで対 P_k^0 を構成するために、格子センタ GC^0 の周囲で大きさが増大する長方形のリングを各ピッチ毎に規定する。

【0111】したがって、同時に、ソース格子 SG^0 と基準点 R_k^0 および格子センタ GC^0 を備えた第 1 理論的格子 TG^0 とが一致し、

- ・第 1 リングが格子センタ GC^0 自身で構成され、
- ・第 2 長方形リングが GC^0 の 8 個の直接隣接点で構成され、
- ・第 3 長方形リングが GC^0 の 16 個の第 2 隣接点で構成される。

【0112】図 6 の C では、理論的格子の基準点 $TR_{g(k)}^0$ は、丸で示してある基準点 $R_{f(k)}$ から十分に離れている場合には、見分け易くするために、十字形で表わしてある。

20

【0113】リングは格子センタ GC^0 から遠く離れているほど、多くの対 P_k^0 が明瞭な離れた点で形成されている。

【0114】図 8 の A を参照するに、現下の長方形リング α における格子

【外 4】

$$TR_{g(k\alpha)}^0$$

のテスト済み点とを通過して半径が引かれ、さらに、つぎのエラーベクトルが測定される。

【数 4】

$$V_{k\alpha}^0 = TR_{g(k\alpha)}^0, R_{f(k\alpha)}$$

このベクトル

【外 5】

$$V_{k\alpha}^0$$

は、このリング α における対

【外 6】

$$P_{k\alpha}^0$$

の基準点群間の対応の歪によるエラーを構成する。

【0115】図 8 の B を参照するに、格子センタ GC^0 からさらに離れた引続くリング β においては、第 1 理論的格子 TG^0 の新たなテスト済み基準点

【外 7】

$$TR_{g(k\beta)}^0$$

に対応する基準点をソース画像 SG^0 中に探求している。この目的で、先行リング α のあらゆる対【外 6】に対するエラーベクトル【外 5】が蓄積されており、格子センタ GC^0 とテスト済み基準点【外 7】とを通る半径が引かれる。先行リング α では、理論的格子

【外 8】

$$TR_{g(k\alpha)}^0$$

の引かれたその半径

【外 9】

$$(GC_o, TR_{g(k\alpha)}^0)$$

に最も近い点が探求される。格子【外 8】のその点が上述のように規定したエラーベクトル【外 5】により基準点

【外 10】

$$R_{f(k\alpha)}$$

に対応する。ついで、そのエラーベクトル【外 5】は、対応する基準点を評価するために新たなテスト済み基準点【外 7】に供給される。この評価に最も近い基準点

【外 11】

$$R_{\alpha\beta}^{21}$$

は、理論的格子のピッチの成分 gmx^0 、 gmy^0 によって規定された距離値の受入れられる範囲内にあると保留される。ついで、新たな対

【外 1 2】

$$P_{k\beta}^0$$

が、基準点【外 1 1】の存在する範囲で形成される。

【0 1 1 6】ついで、新たなエラーベクトル

【外 1 3】

$$V_{k\beta}^0$$

が、次のリングの基準点群を処理するための入力データとして蓄積される。

【0 1 1 7】このようにして、特殊な近接基準が規定され、その基準により、リングの対の基準点間のエラーベクトルに基づいて、センタよりさらに離れた次のリング内に対群が形成され、その次のリング内でさらに大きくなったエラーベクトルが測定される。さらに、先行リング内で測定されたエラーベクトルに基づいて、段々に、リングの寸法が画像の寸法に等しくなるまで、この方法が繰返される。

【0 1 1 8】IID 放射状歪の仮説に基づく反復処理による理論的格子の構成 (図 2 のブロック 4 3 乃至 4 6) 第 1 理論的格子 TG^0 の特性に基づき、本発明による方法は、最良のあり得る理論供給格子、換言すれば、歪みをできるだけ修正した理論的格子 TG^n を構成することよりなっている。

【0 1 1 9】この問題を解決するために、本発明方法は反復性であり、反復の度毎に、つぎの各段階を備えている。

・ブロック 4 4 で行なう放射状歪修正のための多項式の計算、

・ブロック 4 5 で行なうパターン作成エラーの計算および最良値の蓄積、

・ブロック 4 6 で行なう光学センタ OC^n の変更、

・ブロック 4 3 で行なう新たな理論的格子 TG^n の評価。

【0 1 2 0】各先行段階では、零次冪指数が、構成すべき第 1 理論的格子 TG^0 の各基準点のセンタ GC^0 、ピッチ GM^0 および対 $P_{k\beta}^0$ の第 1 評価に関連するあらゆる記号に割当てられており、各反復には冪指数が付され、その指数は、反復の度毎に零から順次増大する。例えば、反復 n では、格子センタは GC^n 、光学センタは OC^n 、格子のピッチ GM^n 、対は $P_{k\beta}^n$ 、等々となる。

【0 1 2 1】図 2 を参照するに、この反復方法はループを形成している。

【0 1 2 2】格子センタ GC^0 、ピッチ GM^0 、光学セ

22

ンタ OC^0 で規定された TG^0 のような第 1 理論的格子の構成要素が既知であるとする、

・放射状歪修正用多項式が、まず、ブロック 4 4 で計算され、

・パターン作成エラー E^0 が引続いてブロック 4 5 で計算され、

・第 1 理論的格子では OC^0 であった近似光学センタの位置が、ついで、ループを閉じるブロック 4 6 で修正され、その位置が OC^1 に移されて、放射仮説が立証される理想的位置、換言すれば、理論的格子の各点が基準点群に整列し、図 4 の A に示すように、光学センタに整列し、

・今は OC^1 と表わす光学センタを修正して、格子センタ GC^1 および格子ピッチ GM^1 で規定される第 2 理論的格子の構成要素をブロック 4 3 で再評価し、その第 2 理論的格子 TG^1 が新たな要素 GC^1 および GM^1 によって構成され、さらに、ブロック 4 3 では、理論的格子 $TR_{\alpha\beta}^1$ の各点がソース画像 SG^0 の基準点群に対応させられ、

・この時点で、反復方法が、ブロック 4 4 で、放射状歪に対する修正多項式 F^1 を計算することによって継続させられ、引続きブロック 4 5 で、パターン作成エラー E^1 を計算することによって継続させられ、さらに、ブロック 4 6 で、順次に OC^2 等々となる光学センタの修正によって継続させられる。

【0 1 2 3】 n 回目の反復 n は、光学センタの位置が修正されて OC^n となった後に、ループのブロック 4 6 の出力端で行なわれる。

【0 1 2 4】新たな光学センタ OC^n の知識は、反復過程のブロック 4 3 で用いられ、そのブロック 4 3 では、その時点で、 $n-1$ 回目の反復 $n-1$ における理論的格子 TG^{n-1} の特性の処理権利のみがあり、反復 n における新たな理論的格子を構成するための新たな格子センタ GC^n および新たな格子ピッチ GM^n を含めて理論的格子の新たな特性がさらに計算される。

【0 1 2 5】同じブロック 4 3 では、理論的格子の新基準点 $TR_{\alpha\beta}^n$ と基準点 $R_{\alpha\beta}^n$ とを、新たな対 $P_{k\beta}^n$ を形成するために、引続いて互いに対応させる。

【0 1 2 6】IID 格子センタ GC^n および格子ステップ GM^n の精密評価 (図 2 のブロック 4 3)

図 2 を参照するに、ブロック 4 3 においては、反復 n で、反復ループのブロック 4 6 で更新したばかりの光学センタ OC^n が判っている、という事実から出発する。

【0 1 2 7】つぎのような記号で表わす対の点 $P_{k\beta}^{n-1}$ から出発する。

【数 5】

$$P_{k\beta}^{n-1} = R_{\alpha\beta}^n, TG^{n-1}g_{\alpha\beta}$$

ここに、冪指数は、これらの値が決められた反復番号 $n-1$ を示すものである。

10

20

30

40

50

【0128】直前の反復 $n-1$ では、つぎのものが判っている、という事実からも出発する。

- ・ 格子センタ $GC^{n-1} = (gcx^{n-1}, gcy^{n-1})$
- ・ 理論的格子ピッチ $GM^{n-1} = (gmx^{n-1}, gmy^{n-1})$

【0129】反復 n においては、つぎのパラメータが決まる。

- ・ 改良された格子センタ $GC^n = (gcx^n, gcy^n)$
- ・ 改良された格子ステップ $GM^n = (gmx^n, gmy^n)$

これらのパラメータは新たな格子点 $TR_{k(n)}^n$ を規定し、新たな格子特性は、固定座標 Ωx , Ωy の基準フレームにおける画素群について計算される。

【0130】そのためには、光学センタ OC^n が正しければ、自然に放射状となる歪は、図4のAに示すように、光学センタ OC^n と基準点 $R_{f(n)}$ とを通る半径に沿った本当のテストパターンMの格子の各点のシフトとなる、という放射仮説と呼ばれる基本的仮説が用いられる。

【0131】これは、理論的格子の点 $TR_{k(n)}^{n-1}$ がこれらの半径の近傍に存在することを示すとともに、最良の理論的格子は、反復 $n-1$ における理論的格子 $TR_{k(n)}^{n-1}$ の各点とこの反復ループ n で評価した光学センタ OC^n および基準点 $R_{f(n)}$ を通る半径との間の幾何学的距離が最小となるように計算すべきであることを意味す *

$$TR_{k(n)}^{n-1} = [(gcx^{n-1} + gmx^{n-1} \times \lambda_{x(k)}), (gcy^{n-1} + gmy^{n-1} \times \mu_{y(k)})]$$

この式において、格子点 $TR_{k(n)}^{n-1}$ のみが、理論的格子のピッチの成分 gmx^{n-1} , gmy^{n-1} および理論的格子のセンタの成分 gcx^{n-1} , gcy^{n-1} に依存している。

【0136】この式において、パラメータ $\lambda_{x(k)}$ および $\mu_{y(k)}$ は、理論的格子 gmx^{n-1} および gmy^{n-1} のピッチの数をそれぞれ規定し、座標 gcx^{n-1} , gcy^{n-1} を有する理論的格子のセンタから出発する格子点 $TR_{k(n)}^{n-1}$ を見出すために、軸 Ωx , Ωy に平行にシフトさせなければならない。

【0137】例えば、図9のAを実現するためには、格子点が、固定基準フレーム Ωx , Ωy 内の画素群の形の成分 gcx^{n-1} , gcy^{n-1} で表わした格子 GC^{n-1} から出発して、水平方向に $\lambda_{x(k)} = 4$ 格子ピッチ、垂直方向に $\mu_{y(k)} = 2$ 格子ピッチの位置にある、と考えたものである。

【0138】格子センタ GC^n および格子ピッチ GM^n は、引続き、この反復 n で、ブロック43において、最良のあり得る理論的格子が、反復 n では反復 $n-1$ におけるよりも小さい距離 Δ_k^n に対応する、という上に説明した放射仮説を表わす放射基準と呼ぶ Φ^n で表わす基準を最小にすることにより計算される。

【0139】この放射基準は、つぎのように書き表わすことができる。

【数8】

* する。

【0132】図9のAを参照すると、ブロック46から、光学センタ OC^n 、先行反復 $n-1$ で蓄積された格子点 $TR_{k(n)}^{n-1}$ 、先行反復 $n-1$ で格子点 $TR_{k(n)}^{n-1}$ との組合わせ $P_{k(n)}^{n-1}$ を形成する対応した基準点 $R_{f(n)}$ が示されており、半径 $OC^n - R_{f(n)}$ が引かれ、格子点 $TR_{k(n)}^{n-1}$ と半径 $OC^n - R_{f(n)}$ との間の幾何学的距離 Δ_k^{n-1} が示されている。

【0133】本発明方法のこの段階においては、反復 n で、この幾何学的距離 Δ_k^{n-1} を最小にして、光学センタ OC^n と格子点群から形成した対の各点および対応する基準点との整列を改良する。

【0134】さらに精確には、つぎの距離【数6】

$$\Delta_k^n = [TR_{k(n)}^{n-1}, (OC^n, R_{f(n)})]$$

が規定されるが、この距離は、理論的格子 $TR_{k(n)}^{n-1}$ の点 $TR_{k(n)}^{n-1}$ と光学センタ OC^n および対応する基準点 $R_{f(n)}$ を通る半径との間の、反復 $n-1$ で蓄積された幾何学的距離である。

【0135】固定基準フレーム Ωx , Ωy においては、これはつぎの式のように表わすことができる。

【数7】

$$\Phi^n(gcx^n, gcy^n, gmx^n, gmy^n) = \sum_k (\Delta_k^n)^2$$

【0140】この基準 Φ^n が明白な解法であるためには、格子ピッチは零であり、格子センタは光学センタと一致する、という解法は、その場合にはつねに、基準 Φ^n は零であり、構成的解法は見出されないから除外されるべきである。他方、格子ピッチが合理的値であり、格子センタが光学センタとは異なれば、問題はさらによく表される。

【0141】非特異な解法に達する最小化の方法は、すべて、満足すべきものであり、使用可能である。本発明によれば、つぎの各段階を含む方法が提案される。

・ 固定格子ピッチの成分 gmx^{n-1} および gmy^{n-1} を放射基準 Φ^n に適合させることによる格子ピッチ GM^{n-1} の合理的値に基づく出発、

・ 格子センタ GC^{n-1} に関する放射基準 Φ^n の最小化、なお、格子ピッチの成分 gmx^{n-1} , gmy^{n-1} は固定であるから、放射基準 Φ^n の式は格子センタ GC^{n-1} の二つの可変座標 gcx^{n-1} , gcy^{n-1} に関して導出され、その導関数の計算は、この反復 n での格子センタ GC^n を更新するために座標値 gcx^n および gcy^n を与える二つの明瞭な式を提供し、

・ 格子ピッチ GM^{n-1} に関する放射基準 Φ^n の最小化、なお、計算されている格子センタの座標 gcx^n および gcy^n は固定であり、放射基準 Φ^n の式は格子ピッチの可

25

変成分 gmx^{n-1} , gmy^{n-1} に関して導出され、その導関数の計算は、この反復 n での格子ピッチ GM^n を更新するために成分値 gmx^n および gmy^n を与える二つの明瞭な式を提供し、

必要な精度が達成されるまでに必要な回数のかかる動作の反復。

【0142】IID2 基準点の対および対応する理論的格子点の反復 n での評価 (図2のブロック43)

先行段階の期間中の反復 n で更新された格子センタ GC^n および格子ピッチ GM^n の値を用いること以外は、第1理論的格子に対するのと同じ処理を正確に実行することによってこの動作が行なわれる。

【0143】反復 n では、図2のブロック43において、固定の基準フレーム Ω_x , Ω_y についてつぎの動作を行なう。

- ・格子センタ座標 $GC^n = (gcx^n, gcy^n)$ の更新
- ・格子ピッチ成分 $GM^n = (gmx^n, gmy^n)$ の更新
- ・ブロック46からの光学センタ OC^n の設置。

【0144】これらの特性は、図4のBに示すように整然と間隔を置いた長方形網目を有する新たに更新した理論的格子の構成を許す。

【0145】ソース格子 SG^0 の基準点 $R_{r(k)}$ を、新たな対 P_k^n を形成するために、新たな理論的格子 TG^n の点群 $TG_{r(k)}^n$ に対応させる方法がつぎに実現される。新たな理論的格子のセンタおよびピッチの変化により、格子の与えられた点と対を作るために反復 n で見出した基準点は、最早最良の候補ではあり得なくなり、新たに対応を提供する方法を採らざるを得なくなる。

【0146】理論的格子の格子点とソース画像の基準点との対応を提供する2つの新たな動作は、新たな座標 (gcx^n, gcy^n) で位置を決めた格子センタ GC^n の周囲に増加する長方形リングを考慮することと、理論的格子 TG^0 の構成のために提案した近似基準を適用して一步一步の前進で順次のリングに対 P_k^n を作ることにによって実現される。

【0147】IIE 放射修正多項式の計算 (図2のブロック44)

反復 n を構成する鎖の先行段階で決めた対 P_k^n から出発して、つぎのような半径の対を計算する。

- ・光学センタ OC^n とこの対 P_k^n の一つの格子点 $TG_{r(k)}^n$ とを結ぶ線分の長さを値として有する第1半径 X_k^n 、

- ・光学センタ OC^n とこの対 P_k^n の基準点 $R_{r(k)}$ とを結ぶ線分の長さを値として有する第2半径 Y_k^n 。

【0148】図9のBを参照するに、これらの半径はつぎの式で表わされる。

【数9】

26

$$X_k^n = (OC^n, TR_{r(k)}^n)$$

$$Y_k^n = (OC^n, R_{r(k)})$$

ここに、

【数10】

$$(TR_{r(k)}^n, R_{r(k)}) = P_k^n$$

【0149】これらの半径の対は、新たに更新した理論的格子 TG^n の各対 P_k^n について計算される。

【0150】最良で各対 P_k^n の半径 Y_k^n を半径 X_k^n に結びつける多項式関数 F^n が引続いて計算される。

【0151】図10のAを参照するに、横軸 X 上の半径 X_{k1}^n , X_{k2}^n と縦軸上の半径 Y_{k1}^n , Y_{k2}^n が図示されており、それぞれ対 P_{k1}^n , P_{k2}^n を形成し、光学センタ OC^n が、画素度盛の座標軸の原点に置かれている。この図では、これらの対 P_{k1}^n , P_{k2}^n が、求める多項式関数を表わす曲線の両側に分布した小丸で記号化した点を形成している。図10のAでは、図を簡明にする目的で、2対の半径のみを示してある。

【0152】図10のBを参照するに、図には、多数の画素中に度盛りした座標軸 X および Y を、第1理論的格子 SG^0 に関連して形成した6対 OP_{k1}^0 , OP_{k2}^0 , OP_{k3}^0 , OP_{k4}^0 , OP_{k5}^0 , OP_{k6}^0 とともに示してある。この図では、光学センタ OC^0 が座標軸の原点にあり、半径 X_k^0 , Y_k^0 が横軸および縦軸上にそれぞれ示してある。この零反復では、各対 P_k^0 を表わす各点が、半径 X_k^n , Y_k^n を結び付けるために求めた関数 F^n を表わす曲線の周囲に点の群を形成している。

【0153】図10のCを参照するに、図には、多数の画素中に度盛りした座標軸 X および Y を、理論的格子 SG^n に関連して、歪修正が実際に完全になった m 番目の反復で形成した他の6対 P_{k1}^n , P_{k2}^n , P_{k3}^n , P_{k4}^n , P_{k5}^n , P_{k6}^n とともに示してある。この場合、対 P_k^n のアセンブリは、多項式関数 F_k^n に対応した滑らかな曲線を構成している。

【0154】図10のA乃至Cを参照するに、反復 n で半径 X_k^n , Y_k^n の対を結び付けるのに最良に適した関数 F^n は5次もしくは6次の多項式であることが判る。例えば、3次の多項式ではこの問題を解くのに不充分であり、放射状歪の修正には、3次より高次の多項式の計算が必要であるように見える。

【0155】図10のAを参照するに、反復 n で、半径 Y_{k1}^n , Y_{k2}^n 、---と対の点 P_{k1}^n , P_{k2}^n 、---を最良に結び付ける多項式関数 F^n との間に存在するエラーすなわち誤差 E_{k1}^n , E_{k2}^n 、---は、各半径 X_{k1}^n , X_{k2}^n 、---についてそれぞれ測定することができる。反復 n における理論的格子 TG^n の対 P_k^n のアセンブリにおいては、以下ではパターン作成エラー E^n と呼ぶこのエラーは、つぎのように書くことができる。

【数 1 1】

$$E^n = \sum_k \{[Y_k^n - F^n(X_k^n)]^2\}$$

【0 1 5 6】以下では放射状誤差修正多項式と呼ぶ多項式 F^n は、反復 n で、修正済み論理的格子の点 $TR^n_{(k)}$ から歪んだソース画像の基準点 $R_{(k)}$ までの通過を許す変形式を構成することに留意するのが重要である。

【0 1 5 7】この多項式 F^n は、二つの長方形成分 F_x^n および F_y^n に分解することができる。

【0 1 5 8】II F パターン作成エラーの計算 (図 2 のブロック 4 5)

図 2 を参照するに、反復 n を構成する連鎖においてブロック 4 5 で表わした段階で、最良の放射状誤差修正多項式 F^n を、通常の線形回帰演算によってパターン作成エラー E^n を最小にするために計算する。

【0 1 5 9】パターン作成エラー E^n は、0 から例えば 10 までの各反復で計算され、かかる順次のエラー E^0, E^1, \dots, E^n が蓄積される。例えば 10 回の反復の過程で計算した種々異なるパターン作成エラーのうち、 N_{opt} の記号を付した反復におけるパターン作成エラーが、先行反復およびおそらく後続の反復で計算した他のエラーより小さいことを見出す。

【0 1 6 0】この最小エラー $E^{N_{opt}}$ を、放射状誤差修正多項式 $F^{N_{opt}}$ もしくはその直交成分 $F_x^{N_{opt}}, F_y^{N_{opt}}$ と同時に蓄積する。

【0 1 6 1】II G 理論的格子の光学センタの修正 (図 2 のブロック 4 6)

本発明による方法の反復 n で放射仮説に基づいて予め計算したパターン作成エラー E^n は、光学センタのために見出した位置に強く依存し、歪のセンタにあるときに理想的となる。

【0 1 6 2】図 2 に示す反復連鎖には、ブロック 4 6 として具体的に示されているループが見出され、そのブロック 4 6 の入力端は、エラー・エネルギーを計算するためにブロック 4 5 のデータを受取り、その出力端は、新たな反復 $n+1$ で新たな理論的格子 TG^{n+1} を計算するために修正した光学センタ OC^{n+1} をブロック 4 3 に供給している。

【0 1 6 3】本発明によれば、エラー E^n のエネルギーの最小化が、放射仮説に基づく画像歪を修正する問題に対する解法を形成することが思い出される。

【0 1 6 4】そのためには、例えば 0 乃至 10 の各反復において、固定基準フレーム Ω_x, Ω_y 内の座標により理論的格子 TG^n に表わした光学センタ OC^n の位置

【数 1 2】 $OC^n = (ocx^n, ocy^n)$

が、パターン作成エラー E^n の最小化に協同するように修正される。この最小化を達成するのに最良の光学センタ OC^n の位置は種々の態様で探求することができる。

【0 1 6 5】第 1 の方法では、大きい探求領域が、反復零では OC^0 と表わす初期の光学センタの周囲に規定さ

れる。各反復の過程では、その全探求領域内の各点が、光学センタを構成するか否か順次にテストされる。全探求領域内のテストされるべき点の数だけ反復が実現され、最後に、最小のパターン作成エラーに対応した光学センタが真の光学センタとして留保される。

【0 1 6 6】第 2 の方法は、計算時間に関する限りはより低廉であるが、勾配の計算に基づいたものである。二つの連続した反復において、第 1 の光学センタ OC^0 から出発して、第 1 の位置決めおよび次の第 2 の位置決めをある方向でテストする。かかる 2 回のテストによってパターン作成エラー E^n が減少するか増大するかに応じて、光学センタの最良位置を、同一方向、同一極性もしくは同一方向、逆極性で探求し続ける。ついで、第 1 の方向に対してある角度をなす他の方向でテストを繰返し、最後に、ある方向、ある極性でパターン作成エラーが最小となる最良の光学センタが見出される反復を留保する。

【0 1 6 7】パターン作成エラーを最小にするのに最良の光学センタ位置が形成された反復の番号 N_{last} を蓄積する。

【0 1 6 8】II H 反復連鎖の出力

かかる条件のもとでは、図 2 に示すブロック 4 5 の出力端における最新の最良条件は、 N_{opt} で見出した条件と N_{last} で見出した条件とが協同するように設定される反復に対応することになる。この反復が最後の反復となり、その番号は $N_{opt}(N_{last})$ である。

【0 1 6 9】したがって、パターン作成エラーを最小にするのに最良の対応する多項式関数は、つぎのように書かれ、

【数 1 3】 $G = F^{N_{opt}(N_{last})}$

その直交成分は、つぎのように書かれる二つの多項式となる。

【数 1 4】 $N_{opt}(N_{last}) \quad G_x = F_x(x, xy)$

$N_{opt}(N_{last}) \quad G_y = F_y(y, xy)$

これらの成分は、それぞれ、デカルト座標で対 P_k^n の点に適用されなければならないのであるから、二つの座標を有する多項式となる。

【0 1 7 0】図 9 の C および図 4 の A を参照するに、最終反復 $N_{opt}(N_{last})$ に対応する条件の決定に到達した反復処理の後には、光学センタはつぎの位置をとり、

【数 1 5】 $OC^{N_{last}}$

格子点 $TR_{(k)}^{N_{last}}$ と対 $P_k^{N_{last}}$ を形成する基準点 $R_{(k)}$ とが同じ半径上で最良に整列するように見える。

【0 1 7 1】図 10 の D を参照するに、対 $P_k^{N_{last}}$ の点は、多項式関数 $F^{N_{last}(N_{opt})}$ を表わす滑かな曲線上に位置する。

【0 1 7 2】これらの条件に対応する理想的な理論的格子は、図 4 の C および D にそれぞれ示す TG^n および TG^{n2} である。

【0 1 7 3】多項式関数 G もしくはその成分 G_x および

G_y が一旦計算されてしまうと、先行段階はすべて最終的に完結する。

【0174】関数 G もしくは G_x , G_y の知識は、図 1 に示したカメラ 2 およびカメラ系 1 で撮像した各画像の光学的歪の修正を確保するのに十分である。

【0175】III 画像の光学的歪の修正 (図 1 の副アセンブリ 47、図 2 の副アセンブリ 47)

以上に述べたように、成分関数 G_x および G_y は、修正した間隔で表わしたターゲット画像 T_I から歪んだ間隔で表わしたもとのソース画像 S_I まで通る変形式である。

【0176】構成すべきターゲット画像においては、固定の基準フレーム Ω_x , Ω_y における各画素の座標 x_n および y_n が蓄積されている。したがってターゲット画像 T_I は、画素順に、例えば通常の映像走査によって走査される。

【0177】ターゲット画像の現下の画素 x_n , y_n にあるべき、単色光レベルすなわちグレーレベルで表わした強度の値は、ブロック 47 に蓄積されている変形多項式 G_x , G_y によって計算したソース画像のアドレス x_{si} , y_{si} について探求され、つぎの関係がある。

【数 16】 $x_{si} = G_x(x_n, y_n)$

$y_{si} = G_y(x_n, y_n)$

【0178】ソース画像 S_I でのアドレス x_{si} , y_{si} で見出す点は、一般に、画素ではないので、単色光レベルすなわちグレーレベルは、その点について、そのソース画像における近隣画素の強度に基づいた補間によって計算される。ついで、補間によって計算した強度値は、ターゲット画像におけるアドレス x_n , y_n の現下の画素に割当てられて、第 2 の画像メモリに蓄積される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】A は、カメラ系と、デジタル画像処理系の二つの副アセンブリ、すなわち、カメラ系の光学的歪の幾何学的修正基準を一方は決定し、他方は適用する副アセンブリとを含む画像形成装置を示すブロック線図であり、B および C は、そのカメラ系によりテストパターンを習得する較正段階を説明する線図である。

【図 2】修正基準を決定する方法を実施するとともに、カメラ系で生じた光学的歪を幾何学的に修正するために歪センタを決定するための画像処理系の第 1 副アセンブリ

* リを形成するブロック群を示すブロック線図である。

【図 3】A 乃至 C は、上述の方法の各段階におけるソース画像をそれぞれ示す線図である。

【図 4】A 乃至 D は、上述の方法の各段階におけるターゲット画像をそれぞれ示す線図である。

【図 5】A は、ソース格子の交点を示し、基準点抽出のための非線形濾過動作を説明する線図であり、B は、調整基準により歪センタに最も近い基準点 R_k^0 を決定するためのソース格子の交点を示す線図である。

【図 6】A は、第 1 中間濾過作用によって第 1 格子 TG^0 の段階を決定するための基準点の水平副アセンブリ HS_k^0 を示す線図であり、B は、第 2 中間濾過作用によって第 1 理論的格子 TG^0 の段階を決定するための基準点の中央副アセンブリ SK^0 を示す線図であり、C は、対 P_k^0 を形成するための寸法が増大する長方形リングの形成を説明する線図である。

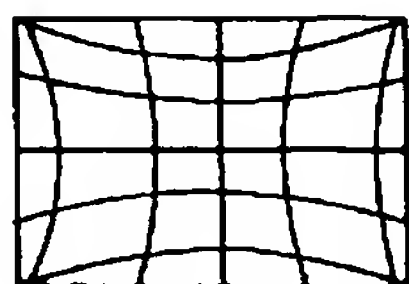
【図 7】A および B は、糸巻形および樽形にそれぞれ歪んだソース画像を示す線図である。

【図 8】A は、格子点〔外 8〕を長方形リング α における基準点〔外 10〕に対応させる処理を説明する線図であり、B は、隣接したより大きいリング β に対する同じ処理を説明する線図である。

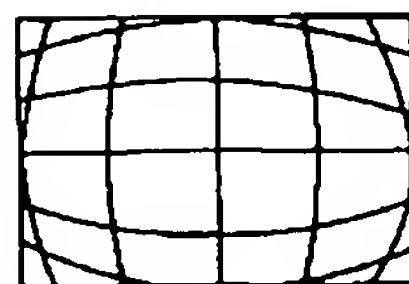
【図 9】A は、対 P_k^n を光学センタ OC^n に整列させるときの歪によるエラー Δ_k^n の決定を説明する線図であり、B は、多項式関数 F^n の評価するための半径 X_k^n および Y_k^n の対の決定を説明する線図であり、C は、パターン作成エラーを最良に最小化するセンタ OC^{Nlast} に理想的に整列した対 P_k^{Nlast} の点を表わす線図である。

【図 10】A は、もとの画素群 OC^n の勾配のグラフにおける横軸および縦軸上にそれぞれプロットした半径 X_k^n と Y_k^n との対によって形成した各点を最良に接続するための多項式 F^n の決定を説明する線図であり、B は、反復方法の零反復における第 1 多項式 P^0 の決定を説明する線図であり、C は、引続く n 反復における改良した多項式 F^n の決定を説明する線図であり、D は、パターン作成エラーを最小にするための最良多項式 $F^{Nlast(Nopt)}$ を表わす曲線上に理想的に配置した対 P_k^{Nlast} の各点を示す線図である。

【図 7】

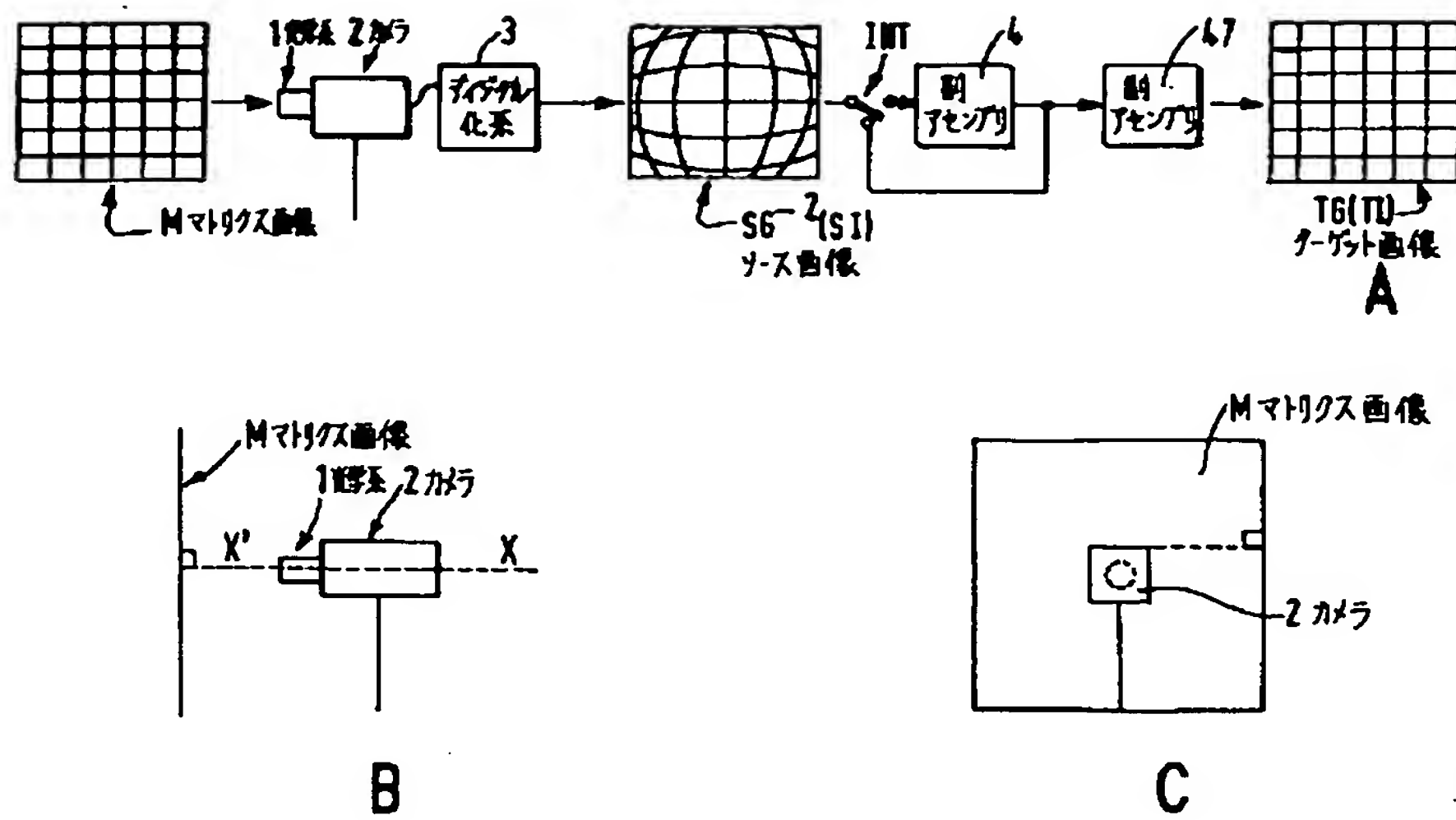


A

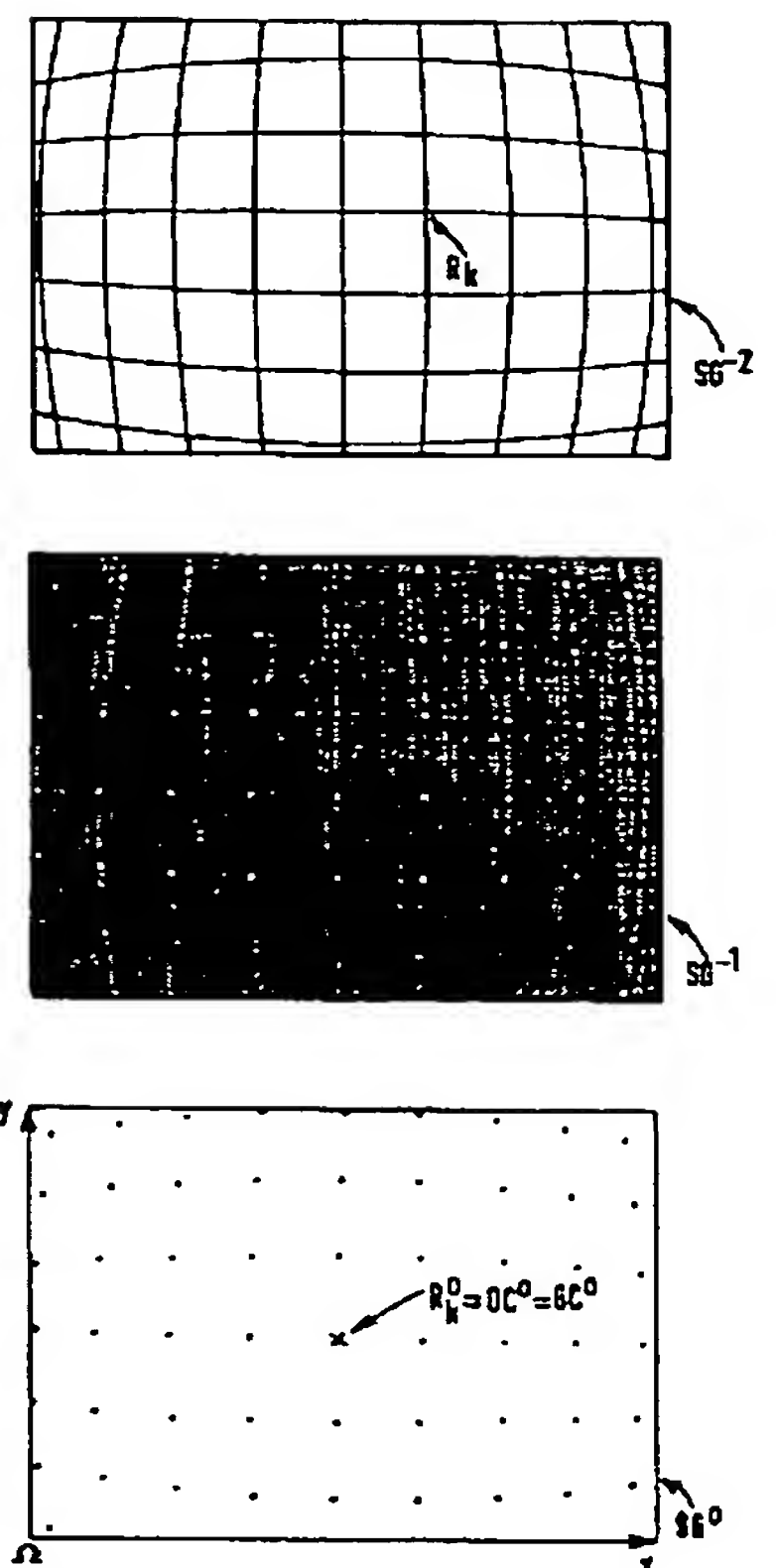


B

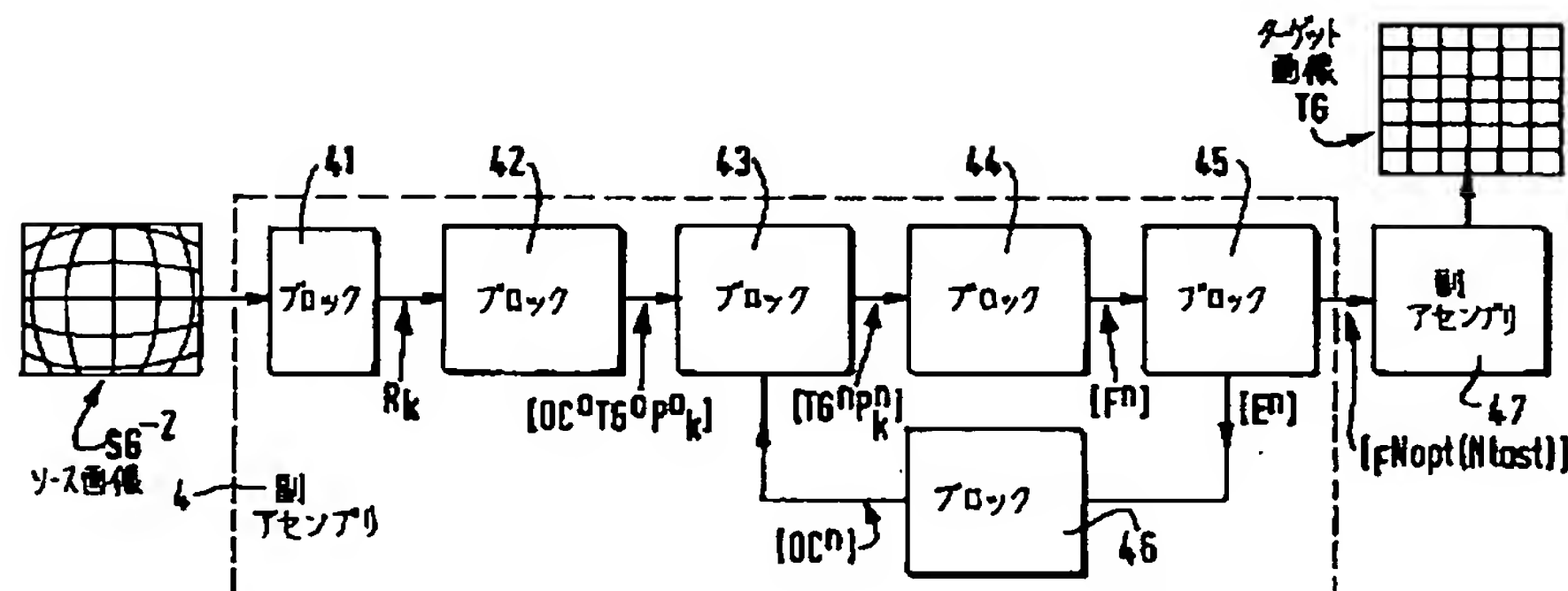
【図 1】



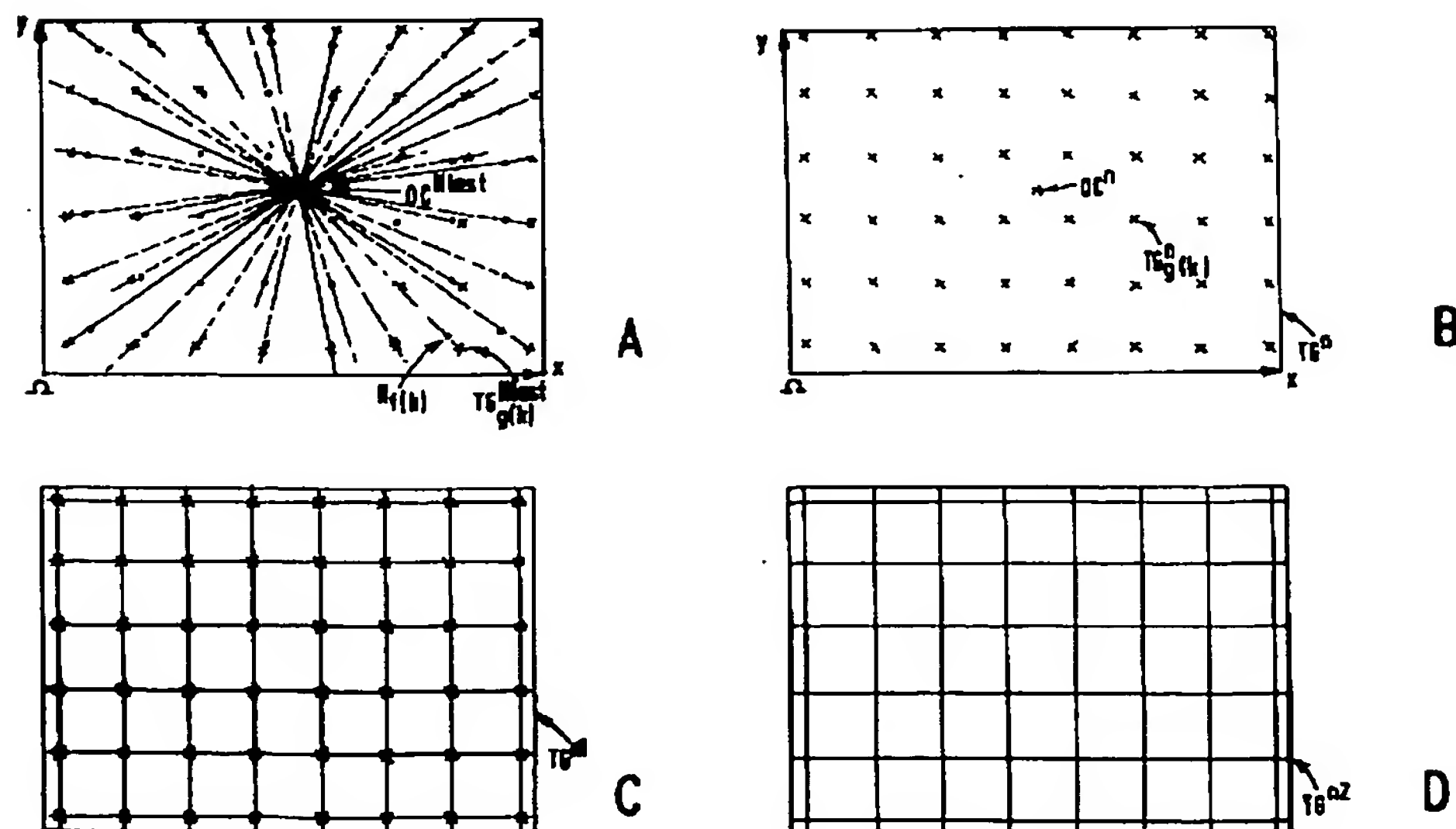
【図 3】



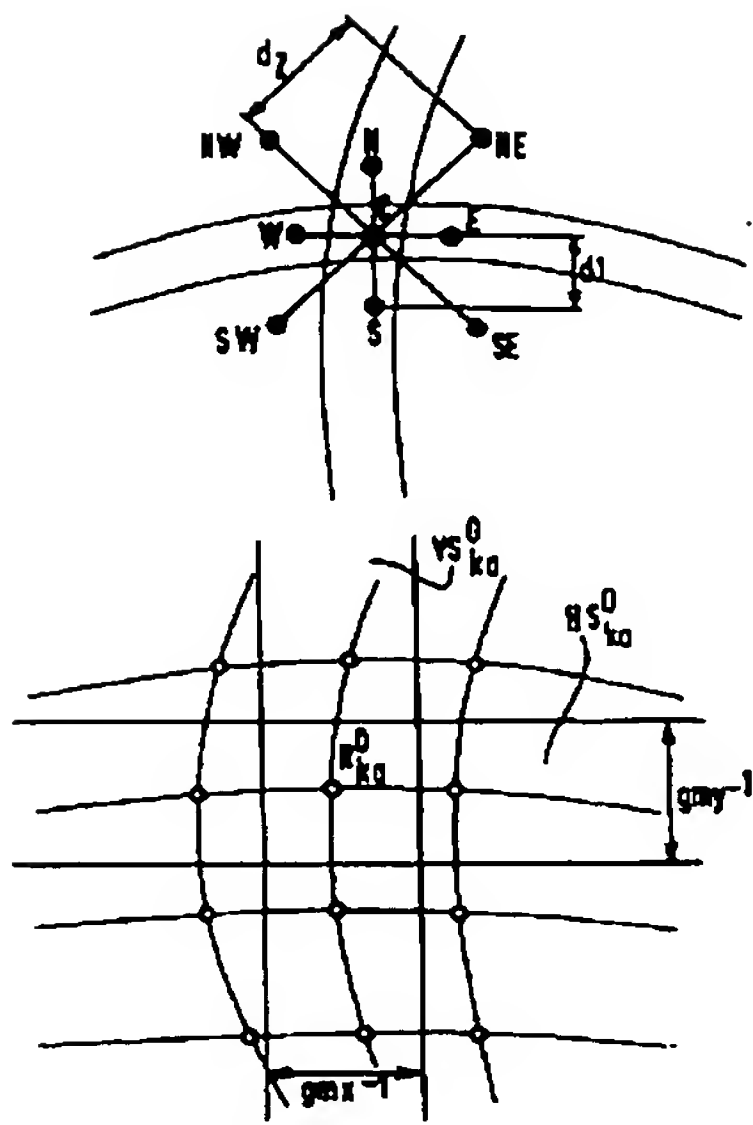
【図 2】



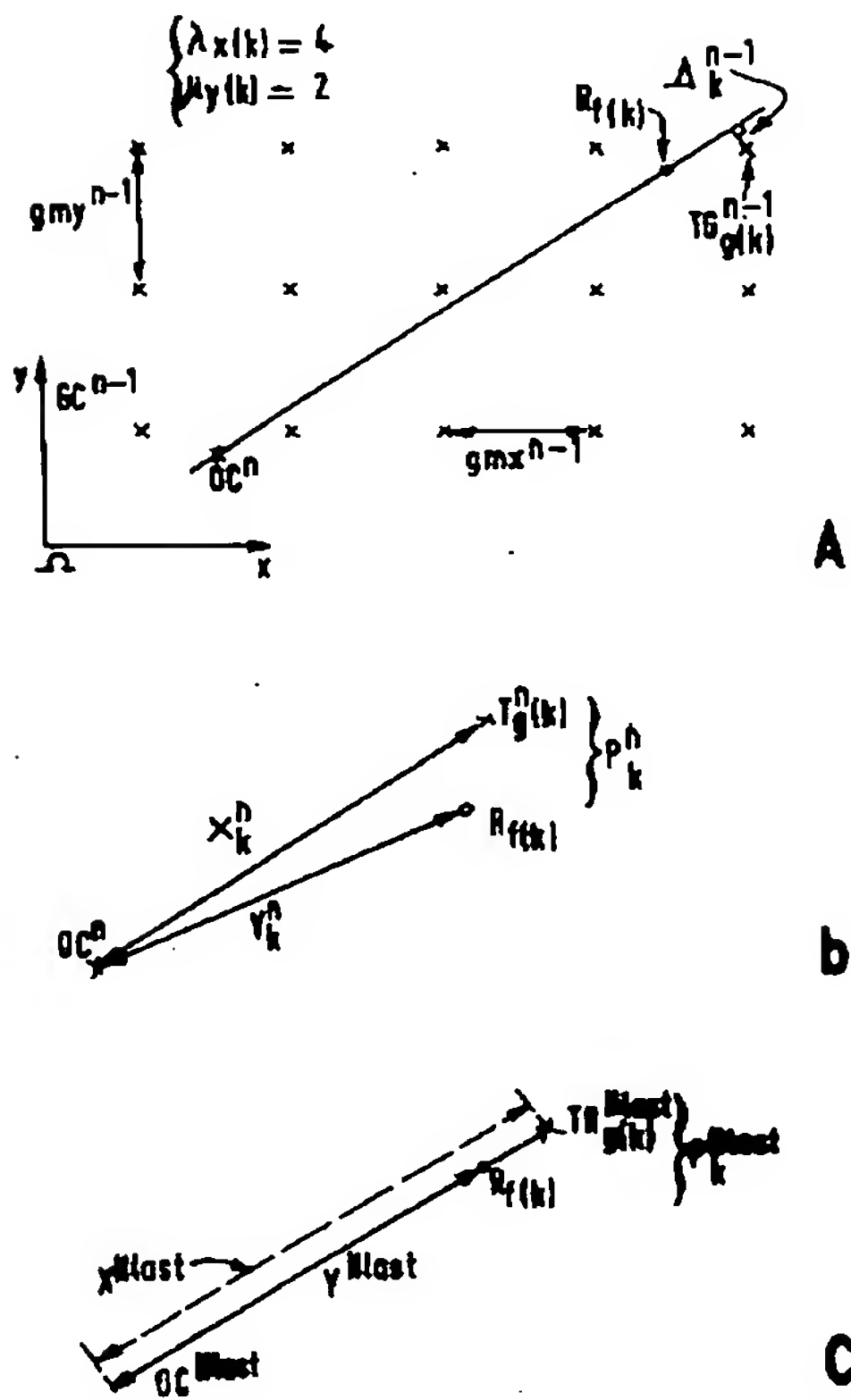
【図 4】



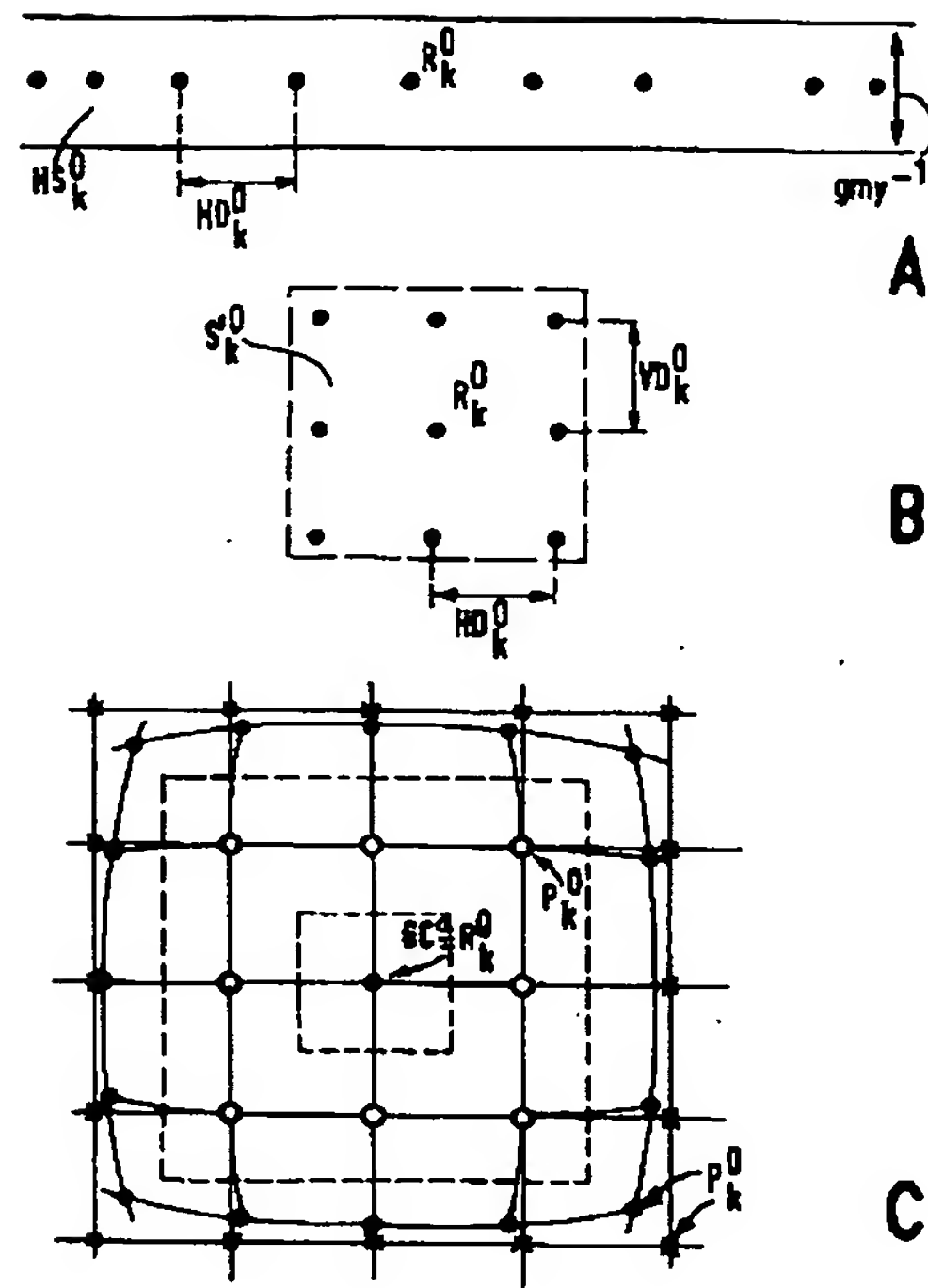
【図 5】



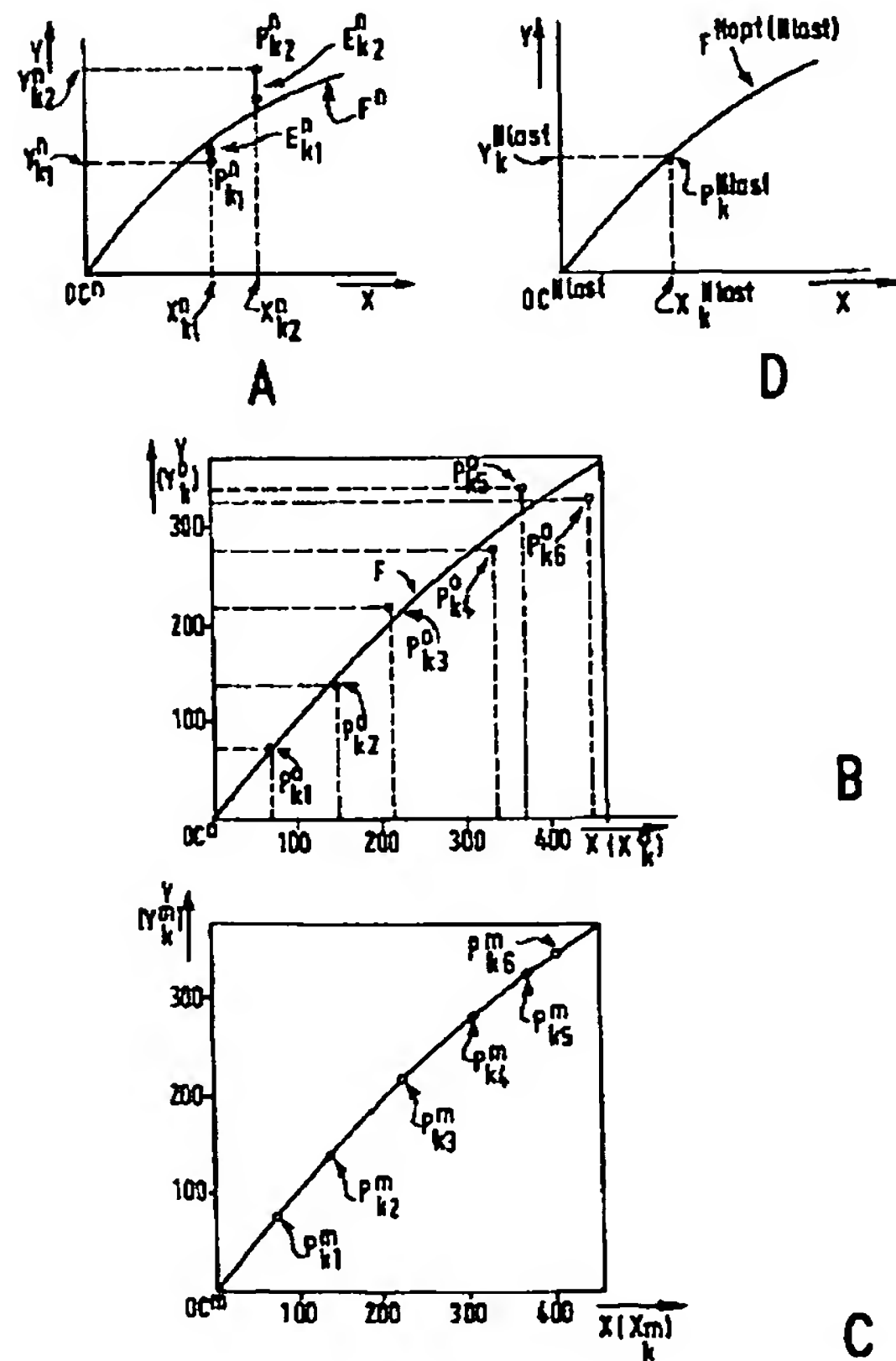
【図 9】



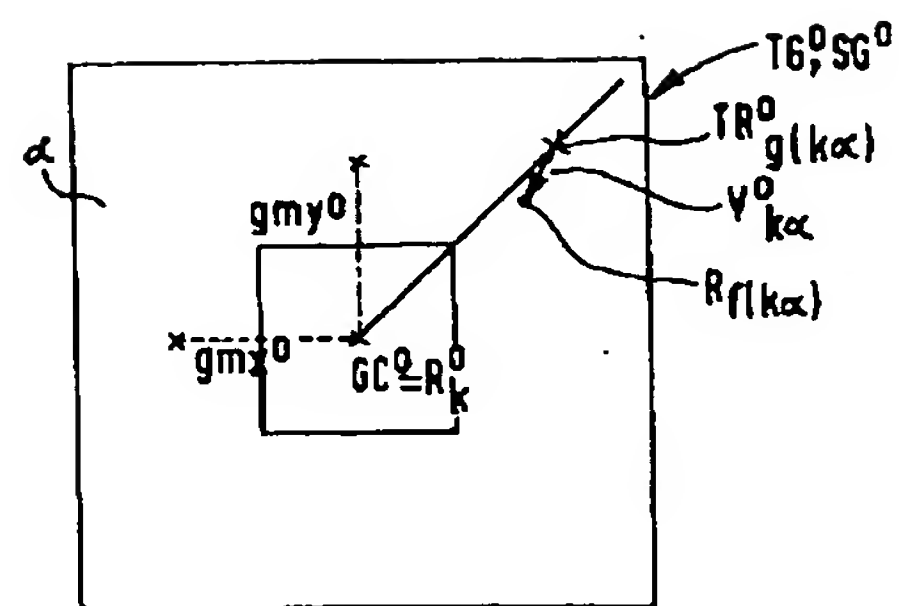
【図 6】



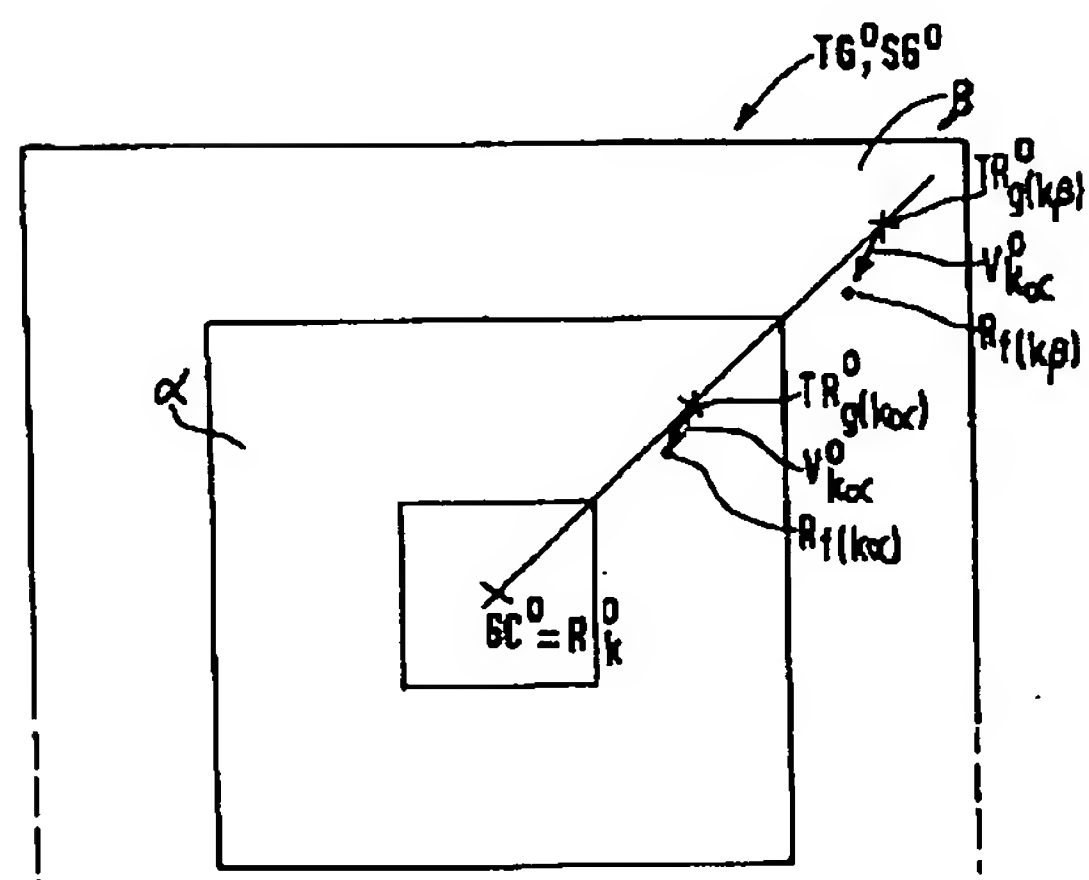
【図 10】



【図 8】



A



B

フロントページの続き

(72)発明者 ピエール レロン
 フランス国 94130 ノーリエンスール
 マルン リュ デュ ジェネラル フェ
 デルブ 6